

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
1. Februar 2001 (01.02.2001)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 01/07195 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **B23K 26/00**,
26/04, 26/08, H05K 3/00

(21) Internationales Aktenzeichen: **PCT/EP00/06914**

(22) Internationales Anmeldedatum:
19. Juli 2000 (19.07.2000)

(25) Einreichungssprache: **Deutsch**

(26) Veröffentlichungssprache: **Deutsch**

(30) Angaben zur Priorität:
199 33 872.8 23. Juli 1999 (23.07.1999) **DE**

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): **HEIDELBERG INSTRUMENTS MIKROTECH-
NIK GMBH [DE/DE]**; Tullastrasse 2, 69126 Heidelberg
(DE).

(72) Erfinder; und

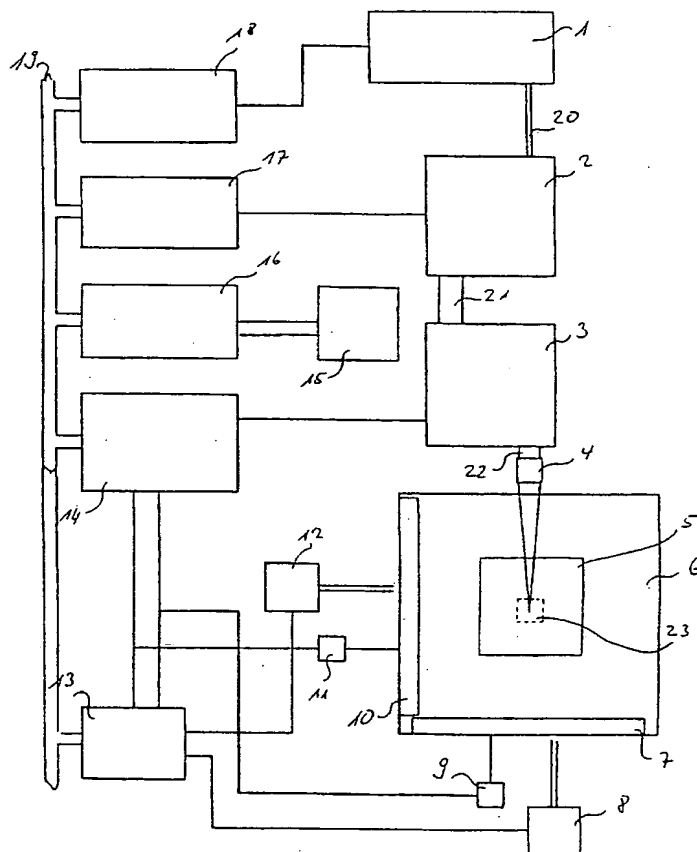
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **VOGLER, Sven**
[DE/DE]; Brückenstrasse 11, 69120 Heidelberg (DE).
KAPLAN, Roland [DE/DE]; Lise-Meitner-Strasse 18,
69126 Heidelberg (DE).

(74) Anwalt: **REBLE, KLOSE & SCHMITT**; Patente +
Marken, Postfach 12 15 19, 68066 Mannheim (DE).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: **METHOD OF PRODUCING MICROBORE HOLES**

(54) Bezeichnung: **VERFAHREN ZUR ERZEUGUNG VON MIKROBOHRUNGEN**



Arbeitsfeldes durch elektronisch gesteuerte.

(57) Abstract: The invention relates to a method of producing microbore holes in a multi-layer substrate (5), especially a printed board substrate which is displaced below a writing optics (4) by means of an XY plate (6), using said optics to generate a spot of a light source (1), especially a laser. The aim of the invention is to reduce the treatment time and preferably to compensate for advantages of the material of the substrate. To this end, the position of the spot within a working field is changed simultaneously with the treatment positions by means of electronically controlled, movable mirrors. The position of the substrate is specifically determined by means of an interferometer (9, 11) and the signals that correspond to the substrate position are processed to an actual position of the table system by means of a suitably equipped processing unit (16). Said processing unit (16) is preferably provided with all bore hole coordinates and additional information such as bore hole diameter, especially in a tabular form.

(57) Zusammenfassung: Das Verfahren dient zur Erzeugung von Mikroböhrungen in einem mehrlagigen Substrat (5), insbesondere einem Leiterplattensubstrat, welches mittels eines XY-Tisches (6) unter einer Schreiboptik (4) bewegt und mittels welcher ein Spot einer Lichtquelle (1), insbesondere eines Lasers, erzeugt wird. Die Bearbeitungszeit mittels des Verfahrens soll reduziert werden und bevorzugt sollen Materialvorteile des Substrats kompensiert werden. Hierzu wird vorgeschlagen, dass gleichzeitig mit den Bearbeitungspositionen entsprechend die Position des Spots innerhalb eines

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

BEST AVAILABLE COPY



(81) **Bestimmungsstaaten** (national): JP, US.

(84) **Bestimmungsstaaten** (regional): europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).

Veröffentlicht:

— Mit internationalem Recherchenbericht.

Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist: Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen.

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes, und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

bewegliche Spiegel verändert wird, dass insbesondere mittels eines Interferrometers (9, 11) die Bestimmung der Substratposition durchgeführt wird und dass mittels eines geeignet ausgerüsteten Rechnersystems (16) die der Substratposition entsprechenden Signale zu einer Ist-Position des Tischsystems verarbeitet werden, wobei dem Rechnersystem (16) vorzugsweise sämtliche Bohrlochkoordinaten sowie Zusatzinformationen, wie Bohrlochdurchmesser, insbesondere in Tabellenform, zur Verfügung gestellt werden.

Verfahren zur Erzeugung von Mikrobohrungen

Das Licht eines gepulsten Lasers, z.B. UV-Licht eines frequenzvervielfachten Nd-YAG Lasers oder Infrarot-Licht eines CO₂-Lasers, kann zur Erzeugung von Bohrungen in Materialien verwendet werden, welche zur Herstellung von elektronischen Leiterplatten dienen.

Die Parameter der verwendeten Lichtquelle und der benutzten Optik, z.B. Laser-Leistung, Pulsdauer, Spotgröße sind allgemein bekannt. Gegenwärtige Bearbeitungs-System bestehen grundsätzlich aus einem XY-Tisch welcher das zubearbeitende Substrat unter einem, den optischen Anforderungen entsprechenden, Optikaufbau positioniert. Der Optikaufbau erfüllt zwei Aufgaben: 1. Erzeugung eines intensiven gepulsten Laser-Spots zur Bearbeitung des Substrates an der geforderten Position, 2. Erkennung vorgegebener Substrat-Marken, aus vorrausgegangenen Produktionsschritten, zur Bestimmung der Position. Dieser Schritt erfordert ein Bildverarbeitungssystem bestehend aus elektronischer Kamera und einem geeignet ausgerüstetem Computersystem, welches aus den Kamerasignalen die gewünschte Positionsinformation ermittelt. Insgesamt wird die Genauigkeit der Lage der Bohrungen im Substrat, relativ zu vorgegebenen Marken, durch die Positionsgenauigkeit des Tischsystems, der Spot-Positioniergenauigkeit des optischen Strahlformung-Systems sowie des optischen Meßsystems bestimmt. Bei modernen Leiterplatten, aufgebaut aus mehreren Lagen von Leitern und Isolationsmaterial, treten während der einzelnen Produktionsschritten Materialverzüge auf, so daß es notwendig ist die Bohrungsmuster der individuellen Verzerrung des Grundsubstrates anzupassen. Hierzu ist wiederum eine sehr hohe Meß- sowie Positioniergenauigkeit von Tischsystem und Strahloptik erforderlich. Aus

wirtschaftlichen Gründen ist es unbedingt notwendig die Bearbeitungszeit insgesamt als auch für jede zu erstellende Bohrung so gering wie möglich zu halten. Je nach Anwendung bzw. Technologie der Leiterplatte sind Bohrungsdurchmesser von wenigen 1/10 mm bis herab zu 50µm einzuhalten. Da der Spotdurchmesser des Laserstrahls, bei typischen UV-Laserbearbeitungssystemen ca. 25µm beträgt, müssen abweichende Bohrungsdurchmesser durch Aneinanderreihung von einzelnen Bearbeitungsschritten, im folgenden Schüsse genannt, erstellt werden. Der Materialabtrag durch mehrfaches schießen entlang einer passend gewählten, meist spiralförmigen, Bahn nennt man 'nibbling'. Obwohl dieses Verfahren erlaubt beliebige Bohrungsdurchmesser zu erstellen, weist es den Nachteil auf, sehr zeitaufwendig zu sein. Da der Energiebedarf pro Schuß stark vom zu bearbeitenden Material abhängt läßt sich die Bearbeitungsstrategie optimieren. Steht genügend Energie pro Laserpuls zur Verfügung erreicht man eine erhebliche Durchsatzsteigerung wenn statt des 'nibbling'-Verfahrens ein geeigneter, größerer, Spotdurchmesser gewählt wird, und nur durch einen Schuß der erforderliche Materialabtrag für den gewünschten Bohrungsdurchmesser bewerkstelligt wird. Die Grundlage der hier neu vorgestellten Methode beruht auf der Möglichkeit den Spotdurchmesser des zur Bearbeitung verwendeten Laserstrahls in sehr kurzer Zeit zu variieren und so Bohrbilder unterschiedlicher Durchmesser in einem Arbeitsgang zu erstellen.

Die Erfindung gemäß **Anspruch 1** wird im folgenden anhand der Fig.1-10 der beigelegten Zeichnungen näher erläutert. Im einzelnen zeigen

Fig.1 ein Ausführungsbeispiel einer Vorrichtung nach der Erfindung;

Fig.2 ein Schema des Strahlenganges;

Fig.3 ein Schema der Bildverarbeitungsbaugruppe;

Fig.4 eine Prinzipdarstellung des in der Vorrichtung der Fig.1 verwendeten steuerbaren Strahlaufweitung unter Verwendung von Galvanometerspiegeln;

Fig. 5 eine Prinzipdarstellung der stufenlos verstellbaren Strahlaufweitung auf der Basis aktiver Spiegelemente;

Fig. 6 eine Prinzipdarstellung des Strahlengangs zur Vermessung und Regelung der Strahlaufweitung mittels aktiver Spiegel;

Fig. 7 eine Prinzipdarstellung des in der Vorrichtung der Fig.1 verwendeten variablen Strahlpositionierung durch piezogetriebene verstellbare Spiegel;

Fig. 8 eine Prinzipdarstellung des in der Vorrichtung der Fig.1 verwendeten variablen

Strahlpositionierung durch Akusto-optische Deflektoren;

Fig. 9 eine Prinzipdarstellung des in der Vorrichtung der Fig.1 verwendeten variablen Strahlpositionierung durch galvanometergetriebene verstellbare Spiegel;

Fig. 10 eine Prinzipdarstellung der Steuerung der Ablenkeinheit.

In Fig.1 ist mit 1 ein als Lichtquelle verwendeter Laser bezeichnet, beispielsweise ein Frequenzverdrehfacher Nd-YAG Laser. Der Laser emittiert einen kurzen sehr kräftigen Lichtimpuls, Dauer ca. 10-20ns, Energie ca. 10^{-4} Joule, sobald ein Startsignal vom Steuerrechner 16 bei der Laserelektronik 18 eintrifft. Das vom Laser emittierte Licht 20 tritt in die variable Strahlaufweitungsoptik 2 ein. Der Durchmesser des Ausgangsstrahl 21 variiert entsprechend der über die Steuereinheit 17 vom Rechner 16 eingestellte Aufweitungsverhältnis, Details in Fig. 4,5 bzw. Fig.6. Das Licht welches in die Strahlablenkeinheit 3 eintritt wird entsprechender der Steuersignale der Kontrolleinheit 14 über zwei Ablenkeinheiten geführt, Fig. 7,8 und 9, so daß der austretende Strahl 22 unter veränderbarem Einfallswinkeln, separat steuerbar in X- und Y-Richtung, in das Objektiv 4 tritt. Das Objektiv bildet das als ebene Welle einfallende Licht in einem Lichtfleck, im folgenden Spot genannt, auf dem zubearbeitenden Substrat 5 ab. Die XY-Position an der der Spot das Substrat 5 innerhalb des Schreibfensters 23 trifft, hängt vom Einfallswinkel in das Objektiv und der Brennweite des Objektivs ab, Fig. 2. Bei kleinen Ablenkwinkeln, Detail 24 Fig.2, $\alpha < 8 \text{ mrad}$ kann eine Auslenkung, Detail 25 Fig.2, und damit ein Schreibfenster, gemäß

$$\delta x = \alpha \cdot F \quad [1]$$

von ca. 2-4mm erreicht werden. Der Durchmesser, Detail 27 Fig.2, des Spots auf dem Substrat hängt vom Durchmesser, Detail 26 Fig.2, des einfallenden Lichtstrahls ab,

$$d = 1,21 \cdot \lambda \cdot F / D. \quad [2]$$

Wobei

δx - Spotposition relative zum Schreibfenster

α - Einfallswinkel

F - Brennweite des Objektivs

d - Durchmesser des Spots

λ - Wellenlänge des verwendeten Lichtes

D - Durchmesser des einfallenden Strahls

Bei geringer Strahlaufweitung erhält man einen großen Spot auf dem Substrat, bei großer Aufweitung wird das Licht stärker gebündelt und man erhält einen kleineren Spotdurchmesser und

damit kleinere Bohrungsdurchmesser im Substrat.

Das zubearbeitende Substrat 5 wird auf dem XY-Tisch durch geeignete Maßnahmen, z.B. Vacuum-ansaugung oder Klemmvorrichtung, festgehalten. Auf gleicher Höhe wie das Substrat befinden sich auf dem XY-Tisch zwei Interferometerspiegel, X-Spiegel 7 Y-Spiegel 10. Mit Hilfe der Interferometer-Meßköpfe, X-Meßkopf 9 Y-Meßkopf 11, wird die momentane Position des XY-Tisches mit hoher Auflösung und Geschwindigkeit gemessen. Die Signale des Interferometersystems werden sowohl der Tischpositionierelektronik 13 als auch der Strahlablenksteuerung 14 zugeführt. Die Positioniereinheit 13 steuert die Antriebseinheiten des Tisches so daß die vom Rechner 16 vorgegebene Bahn bzw. Position erreicht wird. Abschließend sei die Bildaufnahme und Verarbeitungseinheit 15 genannt. Die Bildaufnahmeeinheit Fig. 3, entspricht der eines Auflichtmikroskops, bestehend aus einer Lichtquelle 29, Beleuchtungsstrahlengang 30, Objektiv 31, sowie der elektronischen Kamera 32 und der davor angeordneten Feldlinse 33. Die Signale der Kamera werden dem lokalen Bildverarbeitungsrechner 34 zugeführt. Der Strahlengang der Bildaufnahme ist parallel zum Bearbeitungsstrahlengang angeordnet, so daß durch Verfahren des XY-Tisches das gesamte Substrat unter das Kameraobjektiv 31 gebracht werden kann und somit zu Vermessungszwecken dem Bildbearbeitungsrechner zur Verfügung steht.

Die Baugruppen 13-18 stehen untereinander über ein heterogenes Bussystem 19 in Verbindung. Die Bildverarbeitungseinheit 15 und die Steuereinheit 14 der Strahlablenkung stehen über einen parallelen Datenbus mit dem zentralen Steuerrechner 16 in Verbindung, da größere Datenmengen ausgetauscht werden sollen.

Beschreibung des Ablaufs des Bearbeitungsvorganges gemäß **Anspruch 2**.

Das Substrat 5, welches auf dem XY-Tisch 6 fixiert ist, wird so unter dem Schreiboptik 4 positioniert, daß die Bohrlochkoordinaten innerhalb des Schreibfensters 23 liegen. Hat der XY-Tisch 6 die Koordinate X_{Tisch}, Y_{Tisch} angefahren und besitzt die Strahlablenkeinheit 3 in Verbindung mit dem Objektiv 4 entsprechend Gleichung [2] einen Scanbereich von $\delta x, \delta y$ so lassen sich alle Bohrungen der Koordinaten im Bereich

$$\begin{array}{rcll} X_{Tisch} - \delta x & < & X_{Bohrung} & < X_{Tisch} + \delta x \\ Y_{Tisch} - \delta y & < & Y_{Bohrung} & < Y_{Tisch} + \delta y \end{array} \quad [3]$$

bearbeiten. Die Ansteuersignale für die Strahlablenkung 3 werden vom Rechner 16 aus Bohrloch-sollkoordinate und Tischkoordinate berechnet. Beide Koordinatenwerte liegen in den Grundeinheiten des Interferometers, im folgenden Ticks genannt, vor. Die Größe dieser Ticks hängt vom Arbeitsprinzip des Interferometers und der Wellenlänge des verwendeten Lichtes ab. Typischer-

weise kommt ein HeNe-Laser, welcher Licht mit einer Wellenlänge von ca. $\lambda_{\text{HeNe}} \approx 633\text{nm}$ emittiert, zum Einsatz. Daraus ergibt sich z.B. eine Tick-Größe von ca. $\lambda_{\text{HeNe}}/16 \approx 40\text{nm}$. Nach dem Positionierungsvorgang befindet sich der XY-Tisch an den Koordinaten

$$\begin{aligned} X_{\text{Tisch ist}} &= X_{\text{Tisch soll}} + \varepsilon_x \\ Y_{\text{Tisch ist}} &= Y_{\text{Tisch soll}} + \varepsilon_y \end{aligned} \quad [4]$$

wobei ε_x und ε_y den statischen Positionierfehler des Tischsystems bezeichnen.

$$\begin{aligned} X_{\text{Ablenk}} &= X_{\text{Bohrung}} - X_{\text{Tisch soll}} - \varepsilon_x \\ Y_{\text{Ablenk}} &= Y_{\text{Bohrung}} - Y_{\text{Tisch soll}} - \varepsilon_y \end{aligned} \quad [5]$$

Die berechneten Werte, X_{Ablenk} und Y_{Ablenk} , kompensieren daher den Positionsfehler des Tischsystems. Das Ergebnis

$$\begin{aligned} X_{\text{Ablenk}} &= X_{\text{Bohrung}} - X_{\text{Tisch ist}} \\ Y_{\text{Ablenk}} &= Y_{\text{Bohrung}} - Y_{\text{Tisch ist}} \end{aligned} \quad [6]$$

liegt zunächst als ganzzahliger Wert in Tick-Einheiten vor. Zur Ansteuerung der Strahlablenkeinheit wird jedoch im Allgemeinen eine analoge Spannung, z.B. im Bereich von 0-10Volt, benötigt, welche aus einer vom Rechner zu ladenden Digital-Analog-Wandler Einheit gewonnen wird. Es liegt eine feste Zuordnung von Ausgangsspannung dieser Baugruppe und dem eingeschriebenen Wert vor. Die berechneten Werte für die Strahlablenkung müssen daher umskaliert werden. Diese Skalierungsoperation erfordert zusätzliche Rechenkapazität wenn sie programmgesteuert im Rechner abläuft. Kommt ein nichtlinearer Zusammenhang zwischen Ansteuerspannung der Strahlablenkeinheit und der bewirkten Ablenkung hinzu, lassen sich die benötigten Rechenoperationen nur durch einen sehr schnellen, und daher unwirtschaftlichen, Rechner bewerkstelligen. Aus diesem Grund, **Anspruch 5**, wird die Skalierungsoperation durch eine festverdrahtete Elektronikbaugruppe innerhalb der Steuerung der Ablenkeinheit 14 durchgeführt, Fig. 10. In Fig. 10 sind die Grundbaugruppen zur Ansteuerung eines Strahlablenkkanals, X und Y sind identisch aufgebaut, dargestellt. In einem einmalig durchzuführenden Vorbereitungsschritt wird eine Skalierungstabelle in den Speicher 73 geladen. Der Rechner schreibt hierzu die gewünschte Adresse in den als Eingangsregister arbeitenden Vor-/Rückwärtszähler 72 und die entsprechenden Daten in die Zugriffssteuerung 75, in dieser Phase ist der D/A-Wandler 74 deaktiviert. Um die Skalierungsoperationen durchzuführen legt der Rechner die berechneten X_{Ablenk} - bzw. Y_{Ablenk} -Werte an den Positionszähler. Dessen Ausgänge adressieren den Speicher 73. Der aus dem Speicher ausgelesene Wert wird an den Digital/Analog-Wandler 74 weitergegeben und bestimmt damit die Ansteuerspannung für die Strahlablenkeinheit 3. Für jeden möglichen Eingangswert muß im Speicher 73 ein skaliertes

Ausgabewert vorgehalten werden. Der Wertebereich der Ablenkwerte aus Gleichung [6] wird durch den optisch möglichen Ablenkbereich begrenzt. Geht man von einer Adressbreite von 20bit am Speicher 73 aus, lassen sich $2^{20} \approx 1000000$ Werte, ablegen. Bei einer Tickgröße von 40nm ergibt sich ein maximaler Ablenkbereich von ca. 40mm. Da sich der Adressbereich leicht erweitern läßt, sind Arbeitsbereiche bis über 100mm möglich und werden praktisch nur von dem optisch möglichen begrenzt.

Bei großflächigen Substraten ergebe sich bei oben beschriebenen Methode ein geringen Durchsatz da das Tischsystem pro Bearbeitungsfeld einen Positioniervorgang durchführen muß. Um dies zu vermeiden kann das Tischsystem kontinuierliche Bewegungen durchführen, wobei der nun dynamische Fehler ausgeglichen werden muß, **Anspruch 3**. Bei einer kontinuierliche Tischbewegung muß der Laserspot der Substratbewegung nachgeführt werden um mehrfach die gleiche Substratstelle bearbeiten zu können. Bewegt sich das Tischsystem mit den Geschwindigkeiten v_x und v_y so muß der Laserstrahl entsprechend

$$\begin{aligned} X_{\text{Ablenk}}(t) &= X_{\text{Bohrung}} - X_{\text{Tisch ist, T0}} - v_x * t \\ Y_{\text{Ablenk}}(t) &= Y_{\text{Bohrung}} - Y_{\text{Tisch ist, T0}} - v_y * t \end{aligned} \quad [7]$$

zeitabhängig abgelenkt, nachgeführt, werden. Die Ablenkwerte setzen sich aus einem statischen Teil, nur abhängig von der Koordinate der zu erzeugenden Bohrung und einer wählbaren Tischkoordinate, sowie einem von der momentanen Tischgeschwindigkeit bestimmten Komponente zusammen. In dieser Betriebsart bewegt sich der Tisch 6 und mit ihm das Substrat 5 mit einer, nicht unbedingt konstanten, Geschwindigkeit z.B. entlang der Y-Achse. Der Rechner 16 berechnet die benötigten Ablenkwerte und vergleicht diese mit den maximal möglichen Werten. Sobald diese Werte klein genug sind, d.h. die Bohrlochkoordinate im Bearbeitungsfenster erscheinen, wird der statische Teil aus Gl. 7.

$$\begin{aligned} X_{\text{Start}} &= X_{\text{Bohrung}} - X_{\text{Tisch ist, T0}} \\ Y_{\text{Start}} &= Y_{\text{Bohrung}} - Y_{\text{Tisch ist, T0}} \end{aligned} \quad [8]$$

berechnet und in den Zähler 72 geladen. Der dynamische Fehler, $v*t$, wird durch zählen der Interferometersignale im Zähler 72 kompensiert. Bei einer Tischgeschwindigkeit von z.B. 100mm/s in Y-Richtung und einer Interferometerauflösung, Tickgröße, von ca. 40nm, werden pro Sekunde ca. $2,5*10^6$ Zählsignale, bei einem mittlerem zeitlichen Abstand ca. 400ns, vom Interferometer 11 an den Y-Zähler 72 geliefert. Der Ausgang dieses Zählers repräsentiert damit den sich ständig ändernden Ablenkwert für die Y-Achse und wird gemäß Anspruch 5 umskaliert und zur Ansteuerung der Strahlablenkeinheit 3 verwendet. Da für beide Bewegungsachsen identisch aufgebaute

Ablenksteuerungen, nach Fig. 10, vorhanden sind ist die vektorielle Bewegungsrichtung nicht eingeschränkt. Da der Zähler 72, identisch für X- und Y-Richtung, als Vor-/Rückwärtszähler ausgelegt ist kann sowohl ein positiver als auch ein negativer dynamischer Fehler kompensiert werden. Die Bewegungsart des Tischsystems ist damit frei wählbar und kann zur Durchsatzsteigerung optimiert werden.

In der bisherigen Beschreibung der Erfindung wurde davon ausgegangen, daß die Bohrlochkoordinaten feste Werte darstellen. Da insbesondere Mehrlagen-Substrate während der Herstellung verschiedenste Prozessschritte durchlaufen müssen ist deren Maßhaltigkeit nur bedingt gegeben. Da die Position der Bohrungen unterschiedlicher Lagen aufeinander abgestimmt sind dürfen vorgegebene Positionstoleranzen nicht überschritten werden. Dies würde jedoch erfolgen, wenn die Bohrlochkoordinaten starr, d.h. unabhängig vom aktuell zu bearbeitenden Substrat, festgehalten würden. Wäre das Materialverhalten vollständig bekannt und die Prozessschritte keinen Schwankungen unterworfen so könnten die Bohrlochkoordinaten im Voraus korrigiert werden. Da jedoch Prozeß- und Materialparameter Schwankungen unterworfen sind ist eine Vorkorrektur nur für entsprechend kleine Substrate sinnvoll. Da die Restfehler trotz Vorkorrektur im allgemeinen proportional zur Substratgröße sind ist ein solches Verfahren für große Substrate nicht akzeptabel. Durch eine dynamische Korrektur der Substratverzerrungen, **Anspruch 4**, läßt sich diese Einschränkung überwinden. Erster Schritt in diesem neuen Verfahren ist die Vermessung des Substrates. Auf dem Substrat müssen Markierungen, Alignmentmarken, vorhanden sein deren Sollkoordinaten bekannt sind. Diese Marken wurden z.B. im vorausgehenden Bearbeitungsschritt erstellt und müssen ggf. freigelegt werden um optisch mittels des Kamerasystems 15 erfaßbar zu sein. Je nach Anzahl der zur Verfügung stehenden Marken lassen sich unterschiedliche Fehler bzw. Verzerrungen erfassen und somit kompensieren. Die Vermessung des Substrates bedeutet zunächst die Bestimmung der absoluten Koordinaten der Marken in Bezug auf das Tischkoordinatensystem. Hierzu positioniert der Tisch 6 das Substrat 5 derart, daß die Alignmentmarke im Bildfeld des Kamerasystems 15 erscheint. Der zugehörige Bildverarbeitungsrechner ermittelt die Koordinate relative zum Mittelpunkt des Bildfeldes. Die absoluten Koordinaten ergeben sich aus der Addition von Bildschirmkoordinaten, d.h. skallierter Bildpunktabstand, und Tischkoordinaten gemessen über das Interferometermeßköpfe 9 und 11. Durch Vermessen einer Marke wird es möglich das benutzte Tischkoordinatensystem so zu verschieben, daß es deckungsgleich wird zu einem gedachten Koordinatensystem auf dem Substrat. Diese Deckung ist, auf Grund der Substratverzerrung, allerdings nur für die eine vermessene Marke gewährleistet. Durch Vermessen einer weiteren Marke

und Vergleich mit deren Sollposition wird eine mögliche Verdrehung des Substrates

$$\varphi = (Y_{\text{istMark1}} - Y_{\text{istMark2}}) / (X_{\text{istMark1}} - X_{\text{istMark2}}) \quad [9]$$

zur Bewegungsrichtung des Tisches sowie ein Längenverzerrung

$$\xi_X = (X_{\text{ist Mark1}} - X_{\text{ist Mark2}}) / (X_{\text{soll Mark1}} - X_{\text{soll Mark2}}) \quad [10]$$

in einer Achse erfaßt. In Gleichung 9 u. 10 wird davon ausgegangen, daß sich die beiden Marken auf gleicher Höhe, d.h. gleicher Y-Koordinate, und am linken und rechten Rand des Substrates befinden. Dies muß im allgemeinen nicht der Fall sein und verändert dieses Verfahren nicht, es müssen jedoch die dann bekannten Versätze in X- wie in Y-Richtung in den Gleichungen einfließen. Stehen weiter Alignmentmarken zur Verfügung dient deren Vermessung zur Ermittlung der Längenverzerrung in Y-Richtung, analog zu Gl. 10, bzw. durch Mittelwertbildung zur Verbesserung der Meßgenauigkeit. Nach dem der erste Schritt, Parameterisierung des Auflagefehlers und Erfassung der Substrat Verzerrung, abgeschlossen ist erfolgt die Kompensation dieser Effekte während des Bearbeitungsvorganges. Hierbei ist, insbesondere für Substrate welche Mehrfachnutzen enthalten, zwischen globalen Auflagefehlern und lokale, d.h. für jedes Nutzen getrennt bestimmbaren Parameter zur unterscheiden. Die globalen Auflagefehler werden durch Translation und Rotation des Tischkoordinatensystems kompensiert. Zur Kompensation der lokalen Verzerrungseffekte und ggf. der aufgetretenen Rotation bzw. Translation des Einzelnutzen relative zum Gesamtsubstrat müssen die Bohrlochkoordinaten für jedes Nutzen separat transformiert werden.

$$\begin{aligned} X_{\text{Bohrung}} &= G_{xx} * X_{\text{Design}} + G_{xy} * Y_{\text{Design}} + G_{xz} \\ Y_{\text{Bohrung}} &= G_{yx} * X_{\text{Design}} + G_{yy} * Y_{\text{Design}} + G_{yz} \end{aligned} \quad [11]$$

Die numerischen Werte der Transformationsparameter G_{ij} berechnen sich aus den gemessenen Verzerrungsparametern.

Kern des Verfahrens, nach Anspruch 4, ist, daß nach dem Erfassen sämtlicher relevanter Verzerrungsparameter die, in idealen Design-Koordinaten vorliegenden, Bohrlochkoordinaten während der Bearbeitungsphase in das reale Tischkoordinatensystem transformiert werden wobei die Variation der Parameter für Mehrfachnutzen auf einem Substrat berücksichtigt wird und somit der Aufwand für Speicherplatz und anfallende Rechen- und Vergleichsoperationen minimiert wird.

Um einen wirtschaftlichen Betrieb einer Anlage entsprechend dieser Erfindung zu ermöglichen muß der Durchsatz maximal sein. D.h. die Bearbeitungszeit pro Bohrung soll minimal sein. Der zur Erstellung der Bohrung benötigte Materialabtrag ist abhängig von der Energiedichte auf der Substrat-

oberfläche. Bei einem relativ schwachen Laser muß der Laserstrahl stark gebündelt sein um einen nennenswerten Abtrag zu erreichen, d.h. aber auch, daß der Durchmesser des Loches bei einmaligem Auslösen des Lasers klein ist in Relation zu dem vom Design geforderten Lochdurchmesser. Das zusammensetzen von Bearbeitungsschritten kosten sehr viel Zeit und läßt sich umgehen, wenn der Spotdurchmesser dem Bohrungsdurchmesser angepaßt werden kann. Die hier beschriebene Erfindung, **Anspruch 6 und 7**, kann die Spotgröße durch verändern der Stahllaufweite schnell variieren. In Fig. 4 ist der prinzipielle Aufbau der Anordnung zur stufenweisen Veränderung des Strahldurchmessers skizziert, **Anspruch 6**. Die Anordnung besteht aus paarweise angeordneten Aufweitungslinsen, ihr Abstand entspricht der Summe ihrer Brennweiten, s.d. ein paralleles Strahlenbündel eine feste Aufweitung erfährt

$$F1 / F2 = D1 / D2 \quad [12]$$

wobei F1 - Brennweite der Eingangslinse
 F2 - Brennweite der Ausgangslinse
 D1 - Strahldurchmesser am Eingang
 D2 - Strahldurchmesser am Ausgang

Durch Umschalten des Strahlenganges stehen mehrere feste Aufweitungen zur Auswahl. Die Umschaltung erfolgt über die Galvanometerspiegel 35 und 36, die Hilfsspiegel sind erforderlich um eine parallele Montage der Aufweitungslinsenpaare zu ermöglichen. Um eine stufenlose Aufweitungsvariation zu ermöglichen wird ein weiteres optisches System eingesetzt, Fig. 5. Es besteht aus zwei aktiven Spiegelementen 41 und 42. Der einfallende parallel Strahl läuft nach Reflexion am konvexen Spiegel 42 auseinander. Nach Reflexion am konkaven Spiegel 41 ist er wieder parallel unter der Bedingung:

$$a = f3 + f4 \quad [13]$$

wobei a - Abstand der Spiegel
 f3 - Brennweite konkaver Spiegel
 f4 - Brennweite konvexer Spiegel
 D3 - Strahldurchmesser vor Spiegeln
 D4 - Strahldurchmesser nach variabler Aufweitung

Für das Verhältnis der Strahldurchmesser vor und hinter dieser Anordnung gilt, analog zu [12]

$$f3 / f4 = D3 / D4 \quad [14]$$

Durch einen geeignet gewählten Einfallswinkel kann erreicht werden, daß der Laserstrahl mehrfach an dem Spiegelpaar reflektiert wird. Da der Strahldurchmesser bei jedem Durchlauf gemäß Gl. [14]

erweitert wird potenziert sich die Gesamtwirkung auf den Laserstrahl. Die Gesamtaufweitung ergibt sich zu

$$D_{\text{aus}} = D_{\text{ein}} * (f_3 / f_4)^N \quad [15]$$

wobei

- D_{aus} - Strahldurchmesser nach variabler Aufweitung
- D_{ein} - Strahldurchmesser vor variabler Aufweitung
- N - Anzahl der Mehrfachreflektionen

Wird z.B. $N=8$ erreicht, genügt eine Aufweitung von ca. 10%, d.h. $D_3/D_4=f_3/f_4 \approx 1.1$, um eine Gesamtaufweitung von Faktor 2 zu erreichen. In Verbindung mit der einer in Potenzen von 2 abgestuften Strahlaufweitung nach Anspruch 6, Fig. 4, ist eine stufenlose Wahl des Strahldurchmessers und damit der Spotgröße auf dem Substrat möglich. Die Umschaltung, d.h. die Änderung des Strahldurchmessers, erfolgt einerseits durch Verändern der Ansteuersignale für die Galvanometerdrehspiegel in der Anordnung nach Fig. 4, so daß der Laserstrahl über ein anderes Linsenpaar geführt wird. Zum anderen wird parallel dazu die Ansteuerspannung des aktiven Spiegelpaares geändert, Fig. 5.

Die Brennweite eines aktiven Spiegels hängt von der angelegten Spannung sowie einigen Materialfaktoren und den gewählten Betriebsbedingungen ab. Um eine stabile und insbesondere reproduzierbare Arbeitsweise zu erhalten kontrolliert für diese Erfindung ein Regelkreis die Steuerspannungen der aktiven Spiegel, Anspruch 8. In Fig. 6 ist der zur Vermessung der Strahlaufweitung durch die aktiven Spiegel verwendete Strahlengang gezeigt. Ausgehen von einer Lichtquelle, z.B. ein Halbleiterlaser 43, wird mit Hilfe einer Lochblende 44 und einer Kollimatorlinse 45 und einer Kreisblende 46 ein paralleler Lichtbündel erzeugt. Dieses Lichtbündel wird durch den Strahlteiler 47 in einen Referenzstrahl und einen Meßstrahl aufgeteilt. Der Meßstrahl wird durch Spiegel 47 parallel zum Ausgangsstrahl über die aktiven Spiegel 41 und 42 geführt. Er durchläuft die Spiegelanordnung zweimal da er beim Austritt durch zwei Hilfsspiegel 49 und 50 zurück geschickt wird. Sind die aktiven Spiegel korrekt angesteuert, verläßt der Meßstrahl diese parallel zur Einfallsachse und um einen definierten Abstand versetzt. Diese beiden Parameter werden durch Abbilden des Meß- und Referenzstrahls auf zwei Sensoren erfaßt. Durch einen Strahlteiler 52 werden beide Strahlen aufgeteilt. Beide Strahlen werden einmal über den Hilfsspiegel 51 und der Kollimatorlinse 53 auf einem Zeilensensor 57 als Punkte abgebildet. Ist der Meßstrahl nicht mehr parallel zum Referenzstrahl sind die zwei Bildpunkte auf dem Zeilensensor nicht deckungsgleich. Die durch den Strahlteiler 52 ausgekoppelten Strahlen beleuchten eine halb-

kreisförmige Blende 54. Diese Blende wird mittels Linse 55 auf einem weiteren Zeilensensor 56 abgebildet. Aus dem Profil des Ausgangssignals dieses Sensors läßt sich der parallel Versatz von Meß- und Referenzstrahl bestimmen. Die Meßsignale werden aufbereitet und dienen dem Rechner 58 als Istwertsignale mit deren Hilfe die, für die geforderten Sollwerte entsprechende, Signale für die Ansteuerungselektronik errechnet werden.

Den Abschluß der Beschreibung dieser Erfindung soll die Darstellung der Strahlablenkeinheit bilden. Die hier beschriebene Erfindung, Anspruch 2 & 3, erfordert eine schnell und genaue Strahlablenkung. Hierzu sind die im folgenden beschriebene Verfahren geeignet.

Um die für diese Erfindung notwendige Strahlablenkung durchzuführen wird der aufgeweitete Laserstrahl über zwei, senkrecht zueinander angeordneten Galvanometerspiegel, **Anspruch 9**, geführt, Fig. 9. Die die Spiegelposition wiedergebenden Istwertsignale werden in der Ablenksteuerung 14 dazu verwendet die Spiegel 69 und 71 mit Hilfe des Galvanometerantriebs 68 bzw. 70 so auszurichten, daß der statische Positionierfehler, Anspruch 2, kompensiert wird bzw. die Spiegel so nachzuführen, daß die dynamischen Positionsfehler, Anspruch 3, verschwinden. Galvanometerspiegel erlauben einen großen Ablenkbereich benötigen jedoch auf Grund ihrer Bauform einen großen Abstand zum Schreibobjektiv 4. Kann mit einem kleineren Ablenkwinkel gearbeitet werden, so eignen sich Piezospiegel, **Anspruch 10**, zur Strahlablenkung, Fig. 7. Der Piezoantrieb 60 bzw. 62 verkippt die Scan-Spiegel 61 bzw. 63 um die benötigte Strahlablenkung zu erhalten. Bei Verwendung von 2-Achsen Piezospiegeln läßt sich ein idealer telezentrischer Strahlengang verwirklichen.

Obwohl Piezospiegel bereits deutlich schneller positionieren ergibt sich immer noch eine deutliche Verzögerung zwischen Ausgabe der geforderten Sollposition durch den Rechner und Erreichen der entsprechenden Istposition durch den Spiegel. Eine deutlich geringere Positionierzeit wird erreicht, wenn die Strahlablenkung durch akusto-optische Ablenker bewirkt wird, **Anspruch 11**, Fig. 8. Zur Ablenkung wird im Kristall 64 bzw. 66 durch eine akustische Welle ein Beugungsgitter erzeugt. Der Ablenkwinkel ist proportional zur räumlichen Dichte des Beugungsgitters und läßt sich daher stufenlos durch ändern der Frequenz, ca. 100-200MHz, des Ansteuersignals, eingespeist über Transducer 65 bzw. 67, einstellen. Da bei diesem Verfahren nur die Füllzeit für das Kristall, ca. 30µs bei einer Kristallgröße von ca. 20mm und einer typischen Schallgeschwindigkeit von ca. 600m/s, eine Zeitbeschränkung darstellt ist diese Vorrichtung optimal geeignet um eine schnelle und präzise Strahlablenkung zu gewährleisten.

Bezugszeichen

Fig. 1:

- 1 Laser-Lichtquelle
- 2 Variable Strahlaufweitung
- 3 Ablenkeinheit
- 4 Objektiv
- 5 Substrat
- 6 XY-Tisch
- 7 X-Interferrometerspiegel
- 8 Antriebseinheit für X-Richtung
- 9 X-Interferrometer
- 10 Y-Interferrometerspiegel
- 11 Y-Interferrometer
- 12 Antriebseinheit für Y-Richtung
- 13 XY-Tischsteuerung
- 14 Steuerung der Ablenkeinheit
- 15 Elektronische Kamera inklusive Objekt und Beleuchtung
- 16 Rechner
- 17 Ansteuerung für variable Strahlaufweitung
- 18 Ansteuerung Laser
- 19 Heterogener Systembus
- 20 Ausgangsstrahl Laser
- 21 Strahl nach variabler Aufweitung
- 22 Scannender Strahl

Fig. 2:

- 23 Hauptebene des Objektivs
- 24 Einfallswinkel
- 25 Auslenkung
- 26 Durchmesser Eintrittsstrahl
- 27 Spotgröße
- 28 Brennweite des Objektivs

Fig. 3:

- 29 Lichtquelle
- 30 Beleuchtungsstrahlengang
- 31 Objektiv
- 32 Elektronische Kamera
- 33 Feldlinse
- 34 Bildverarbeitungsrechner

Fig. 4:

- 35 Eingangs-Galvanometer-Drehspiegel
- 36 Ausgangs-Galvanometer-Drehspiegel
- 37 Hilfsspiegel E
- 38 Hilfsspiegel A
- 39 Aufweitungslinse E
- 40 Aufweitungslinse A

Fig. 5:

- 41 Aktiver Konkavspiegel
- 42 Aktiver Konvexspiegel

Fig. 6:

- 43 Lichtquelle, z.B. Halbleiterlaser
- 44 Lochblende
- 45 Kollimatorlinse 1
- 46 Kreisblende
- 47 Strahlteiler 30 %
- 48 45°-Spiegel 1
- 49 45°-Spiegel 2
- 50 45°-Spiegel 3
- 51 45°-Spiegel 4
- 52 Strahlteiler 50 %
- 53 Kollimatorlinse 2
- 54 Halbkreisblende
- 55 Abbildungslinse
- 56 Positionsdetektor 1, z.B. CCD-Zeile
- 57 Positionsdetektor 2, z.B. CCD-Zeile
- 58 Meßelektronik & Rechner

59 Ansteuerelektronik für aktive Spiegel

Fig. 7: Ablenkeinheit auf Basis von Piezo-Scanner

60 Piezo-Scanner für X-Achse

61 Scan-Spiegel X

62 Piezo-Scanner für Y-Achse

63 Scan-Spiegel Y

Fig. 8: Ablenkeinheit auf Basis von akusto-optischer Ablenkern

64 AOD-Kristall zur X-Ablenkung

65 Eintrittsfläche der akustischen Welle

66 AOD-Kristall zur Y-Ablenkung

67 Eintrittsfläche der akustischen Welle

Fig. 9: Ablenkeinheit auf Basis von Galvanometer-Scannern

68 Galvanometer-Scanner für X-Achse

69 Scan-Spiegel

70 Galvanometer-Scanner für Y-Achse

71 Scan-Spiegel

Fig. 10:

72 ladbarer Vor- / Rückwärtszähler

73 Speicher

74 Digital / Analog-Wandler

75 Zugriffssteuerung

76 Sollwertspannung Ablenkeinheit

77 Interferrometer Signale

78 Adressbus

79 Datenbus

Patentansprüche

1. Verfahren zur Erzeugung von Mikrobohrungen in einem mehrlagigen Substrat (5), insbesondere einem Leiterplattensubstrat, welches mittels eines XY-Tisches (6) unter einer Schreiboptik (4) bewegt wird, mittels welcher ein Spot einer Lichtquelle (1), insbesondere eines Lasers, erzeugt wird,

dadurch gekennzeichnet, daß gleichzeitig mit den Bearbeitungspositionen entsprechend die Position des Spots innerhalb eines Arbeitsfeldes durch elektronisch gesteuerte, bewegliche Spiegel verändert wird, daß insbesondere mittels eines Interferrometers (9, 11) die Bestimmung der Substratposition durchgeführt wird und daß mittels eines geeignet ausgerüsteten Rechnersystems (16) die der Substratposition entsprechenden Signale zu einer Ist-Position des Tischsystems verarbeitet werden, wobei dem Rechnersystem (16) vorzugsweise sämtliche Bohrlochkoordinaten sowie Zusatzinformationen, wie Bohrlochdurchmesser, insbesondere in Tabellenform, zur Verfügung gestellt werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur Bearbeitung einzelner Felder das Substrat (5) unter der Schreiboptik (2) positioniert wird und daß statistische Positionsfehler in beiden Bewegungsachsen durch Nachführen des Spots mittels einer Strahlablenkeinheit ausgeglichen werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat während der Bearbeitung kontinuierlich bewegt wird und der resultierende dynamische Positionsfehler in beiden Bewegungsachsen des Substrats (5) durch Nachführen des Spots mittels der Strahlablenkeinheit ausgeglichen wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1 und 2 oder nach Anspruch 1 und 3, dadurch gekennzeichnet, daß zur Bearbeitung einzelner Felder oder des kontinuierlich bewegten Substrats (5) unter der Schreiboptik (4) die Bohrlochsolllkoordinaten während der Bearbeitung entsprechend einer ausgemessenen Substratverzerrung korrigiert werden.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß mittels des Rechnersystems (16) sämtliche Koordinatenberechnungen in den Zähleinheiten des Systems zur Bestimmung der Substratposition, insbesondere des Interferrometers (9, 11) durchgeführt werden, wobei die erforderlichen Umskalierungsoperationen zur Ansteuerung der Strahlpositioniereinheit in der Schreiboptik (4) bevorzugt durch zugeordnete Speichertabellen erfolgen.

6. Verfahren, insbesondere nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß mittels der Schreiboptik (4) der Durchmesser des Spots auf dem zu bearbeitenden Substrat (5) derart schnell verändert wird, daß unterschiedliche Bohrlochdurchmesser in einem Arbeitsgang und / oder mit einem einzigen Laserschuss, erstellt werden, ohne daß ein „nibbling“-Verfahren anzuwenden ist, und / oder daß in das Substrat (5) Bohrungen mit unterschiedlichen oder variierenden Durchmessern eingebracht werden, wobei entsprechend dem geforderten Bohrlochdurchmesser der Spotdurchmesser des Lichtstrahls vorgegeben wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß in der Schreiboptik (4) aktive Spiegelemente zur Variation des Strahldurchmessers enthalten sind, und / oder daß die Brennweite der genannten Spiegel durch Anlegen einer Spannung geändert wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die aktiven Spiegelemente, insbesondere mittels eines Hilfsstrahles, permanent optisch vermessen und / oder dementsprechend geregelt werden.

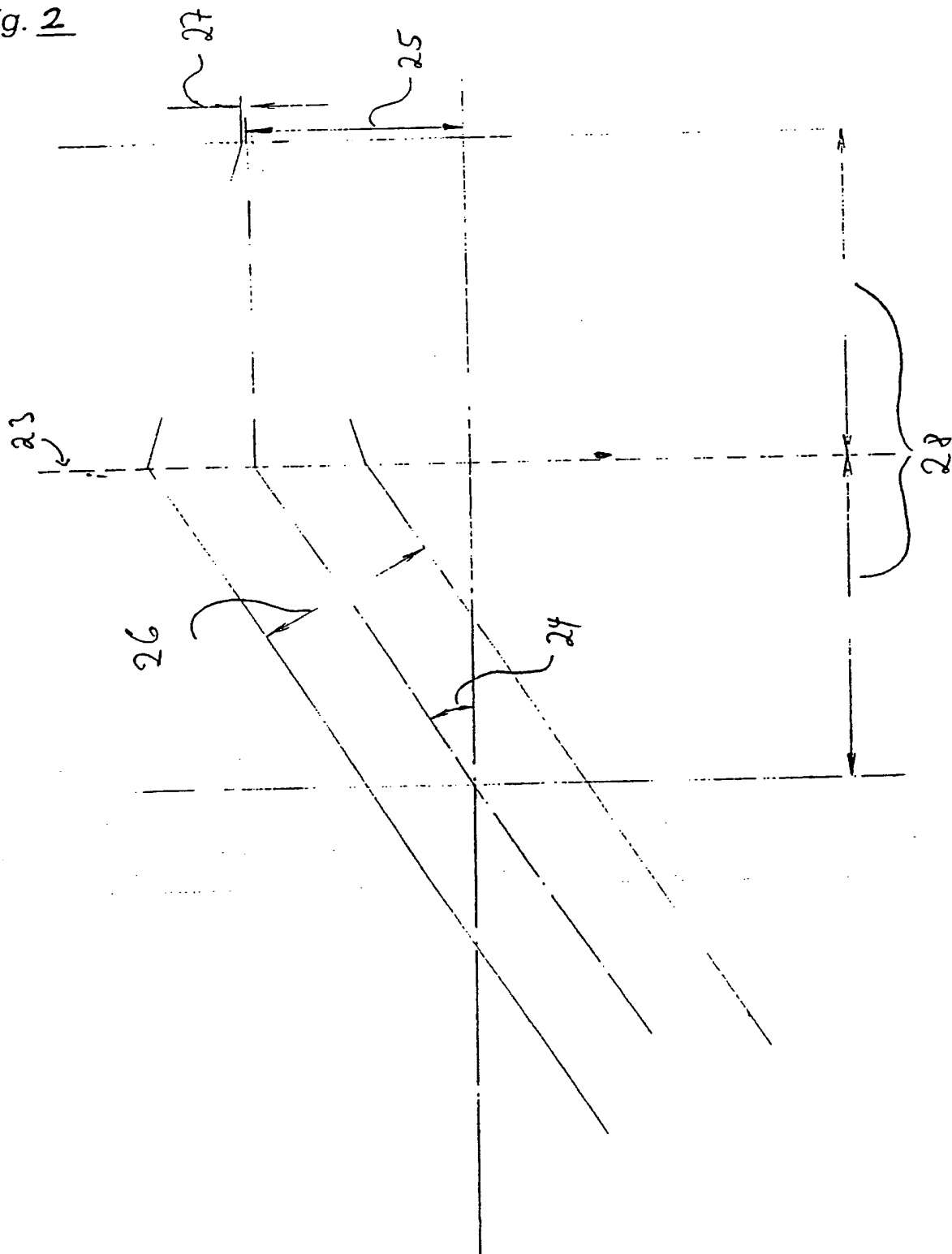
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die variable Strahlpositionierung der Schreiboptik mittels galvanometergesteuerter Drehspiegel (69, 71) erreicht wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die variable Strahlpositionierung der Schreiboptik mittels piezogetriebener und verstellbarer Spiegel (69, 71) erreicht wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die variable Strahlpositionierung der Schreiboptik mittels akusto-optischer Deflektoren (64, 66) erreicht wird.

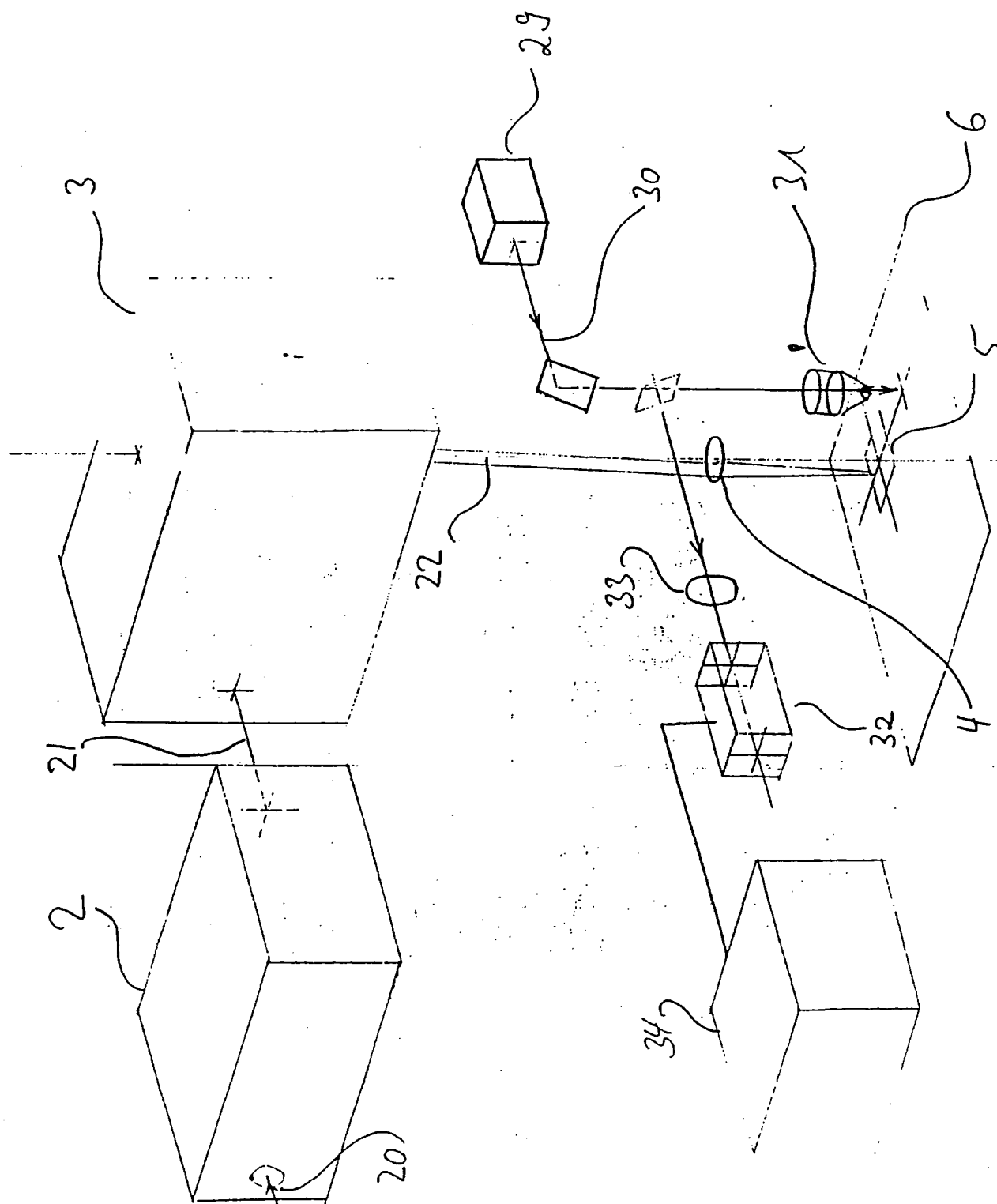
2/10

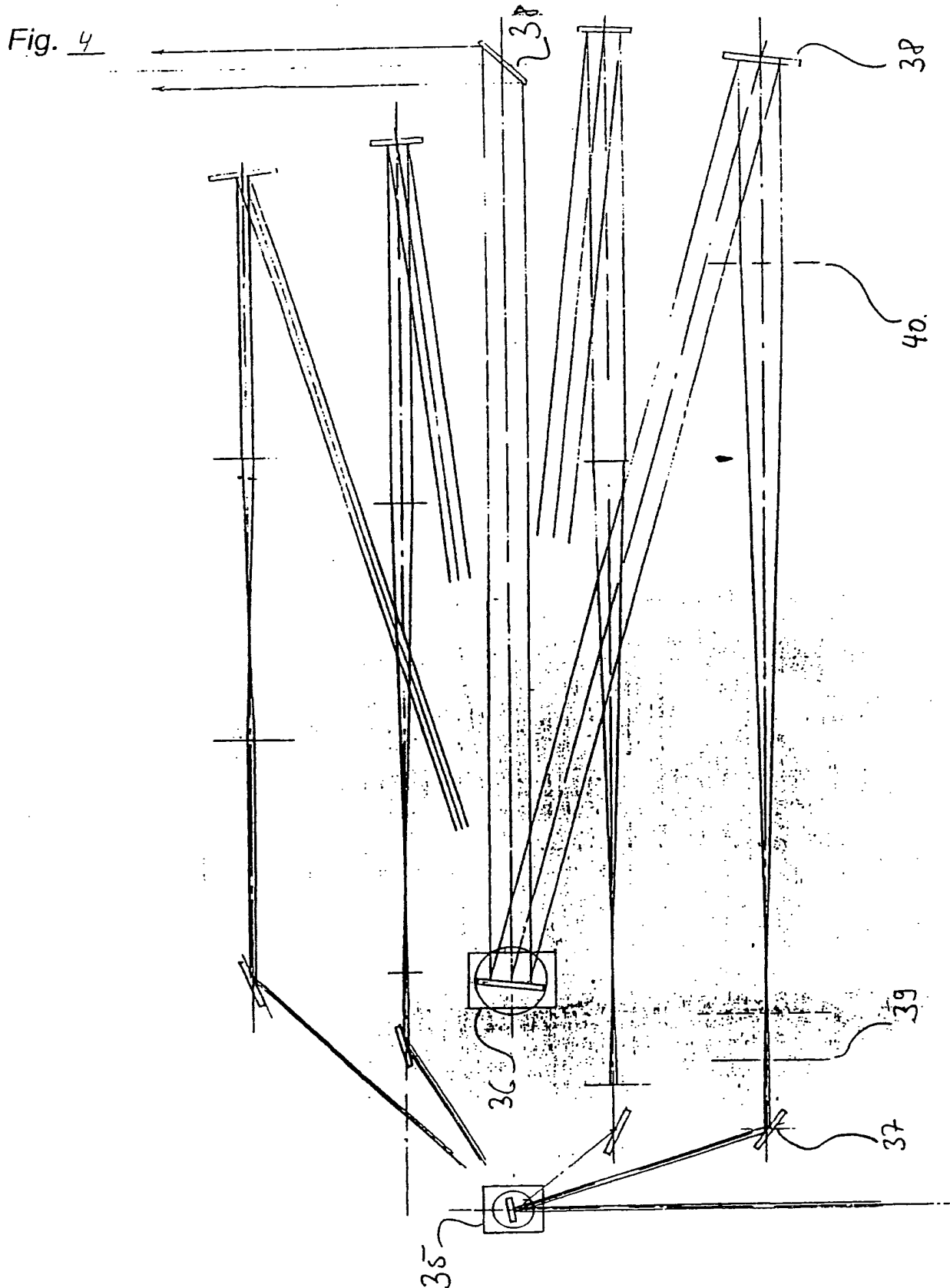
Fig. 2



3/10

Fig. 3





5/10

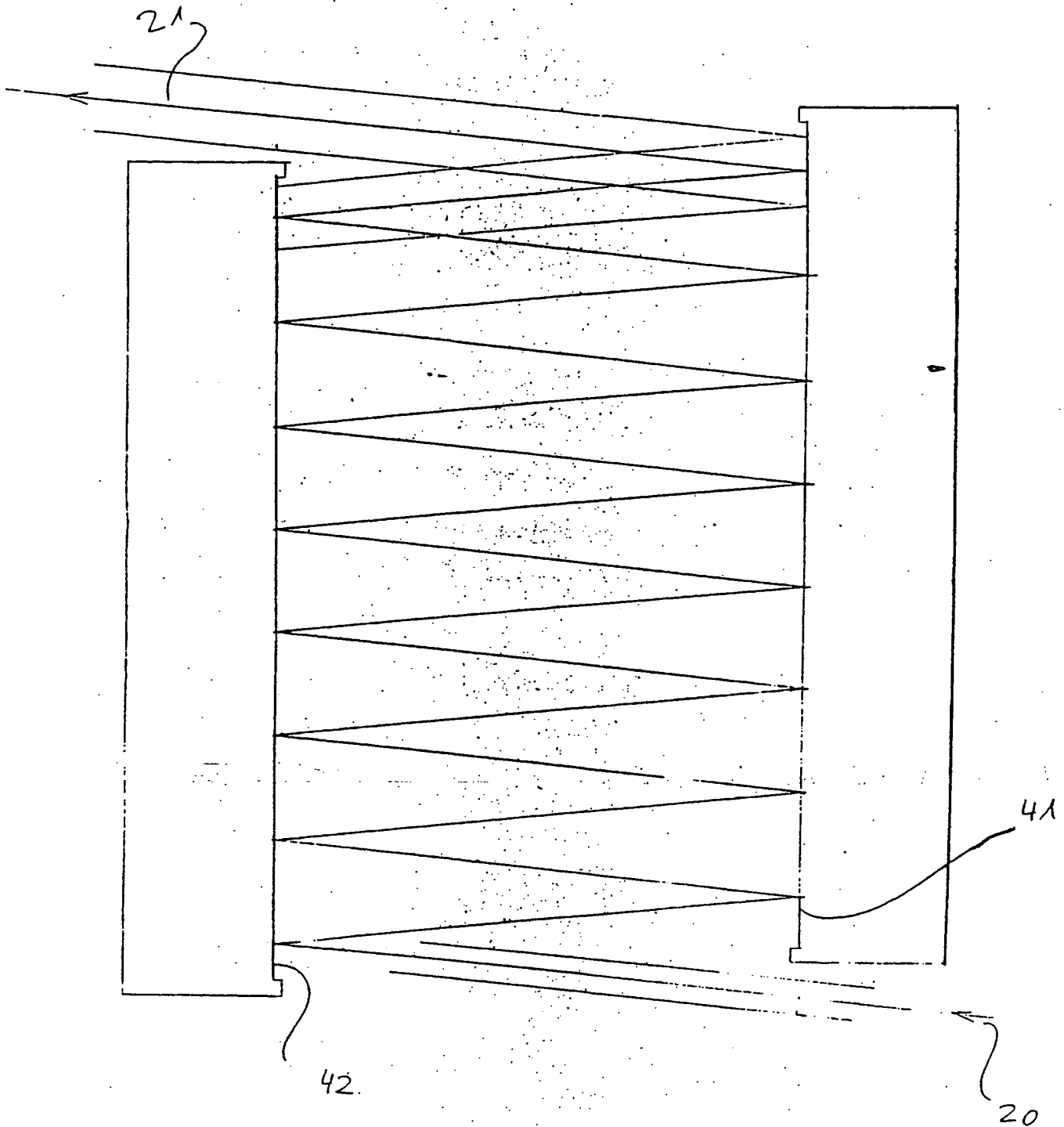
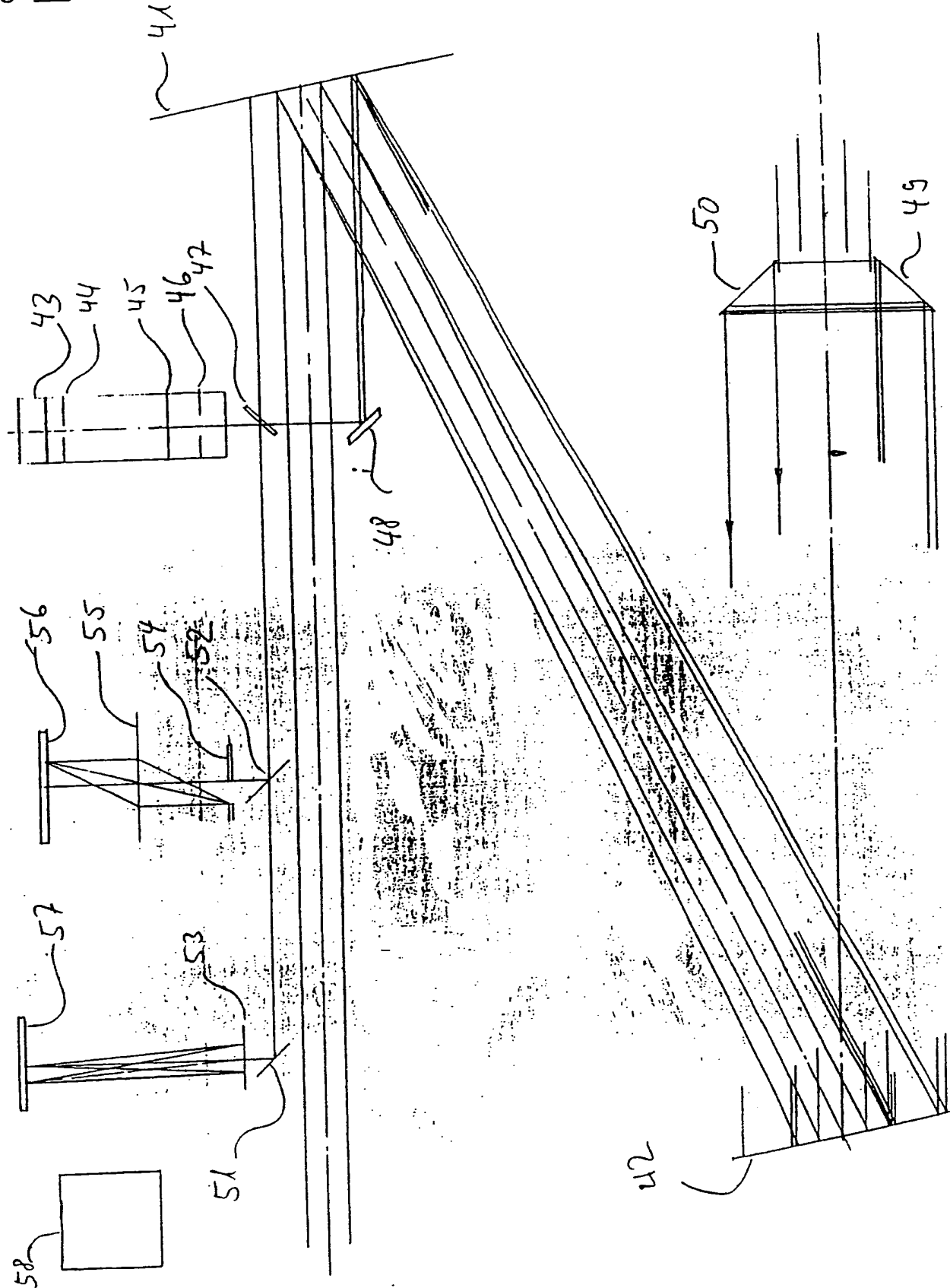


Fig. 5

6/10

Fig. 6



7/10

Fig. 7

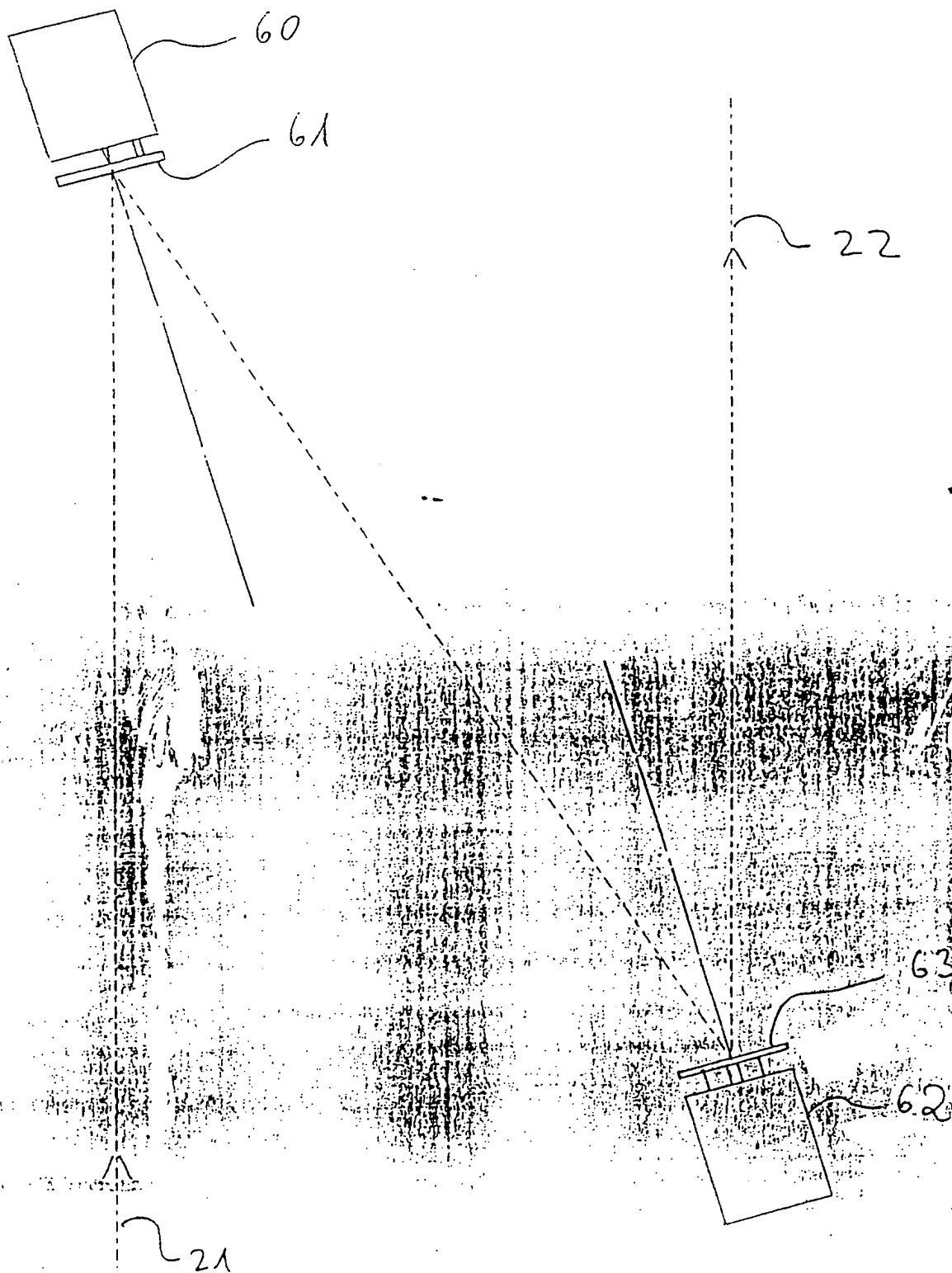
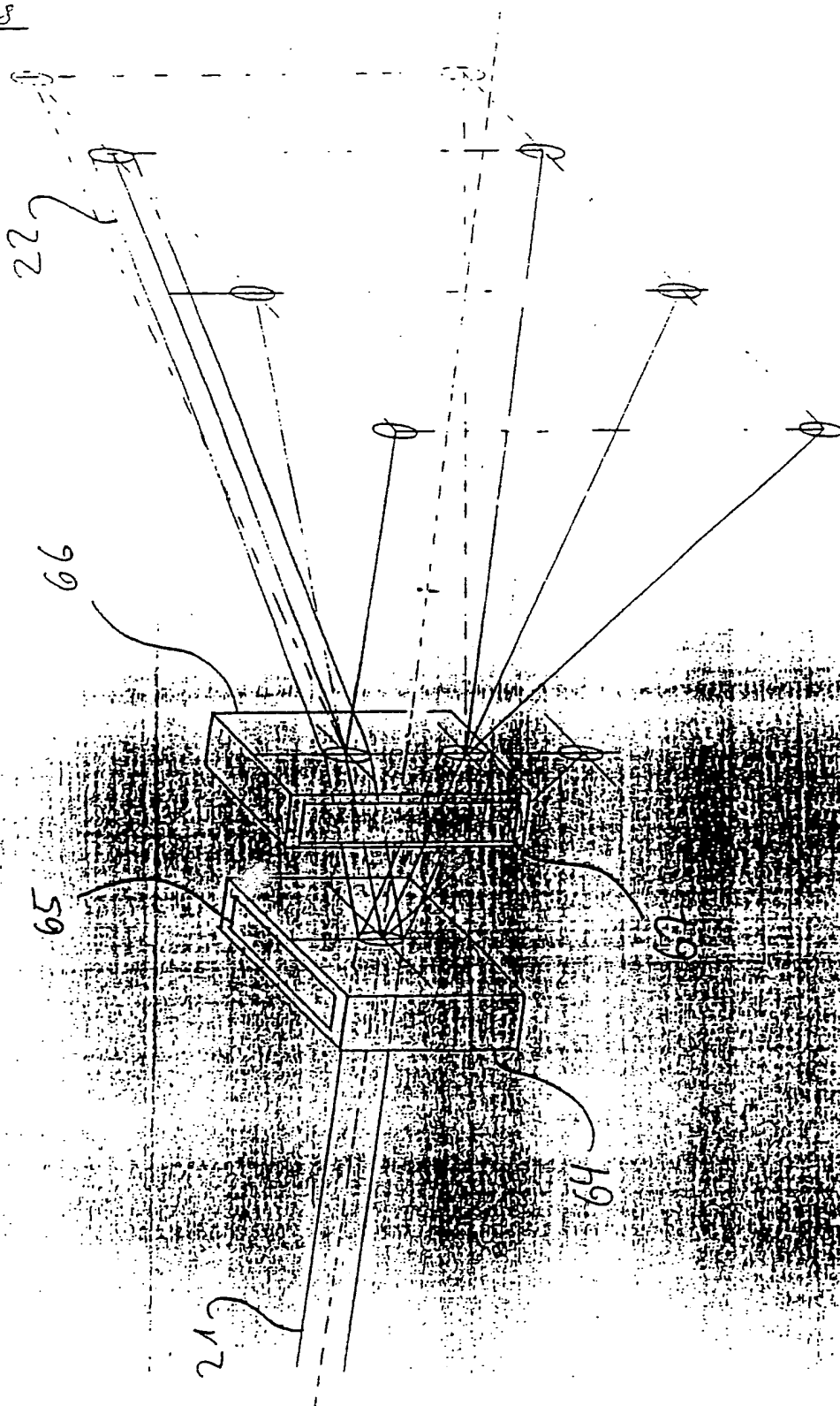
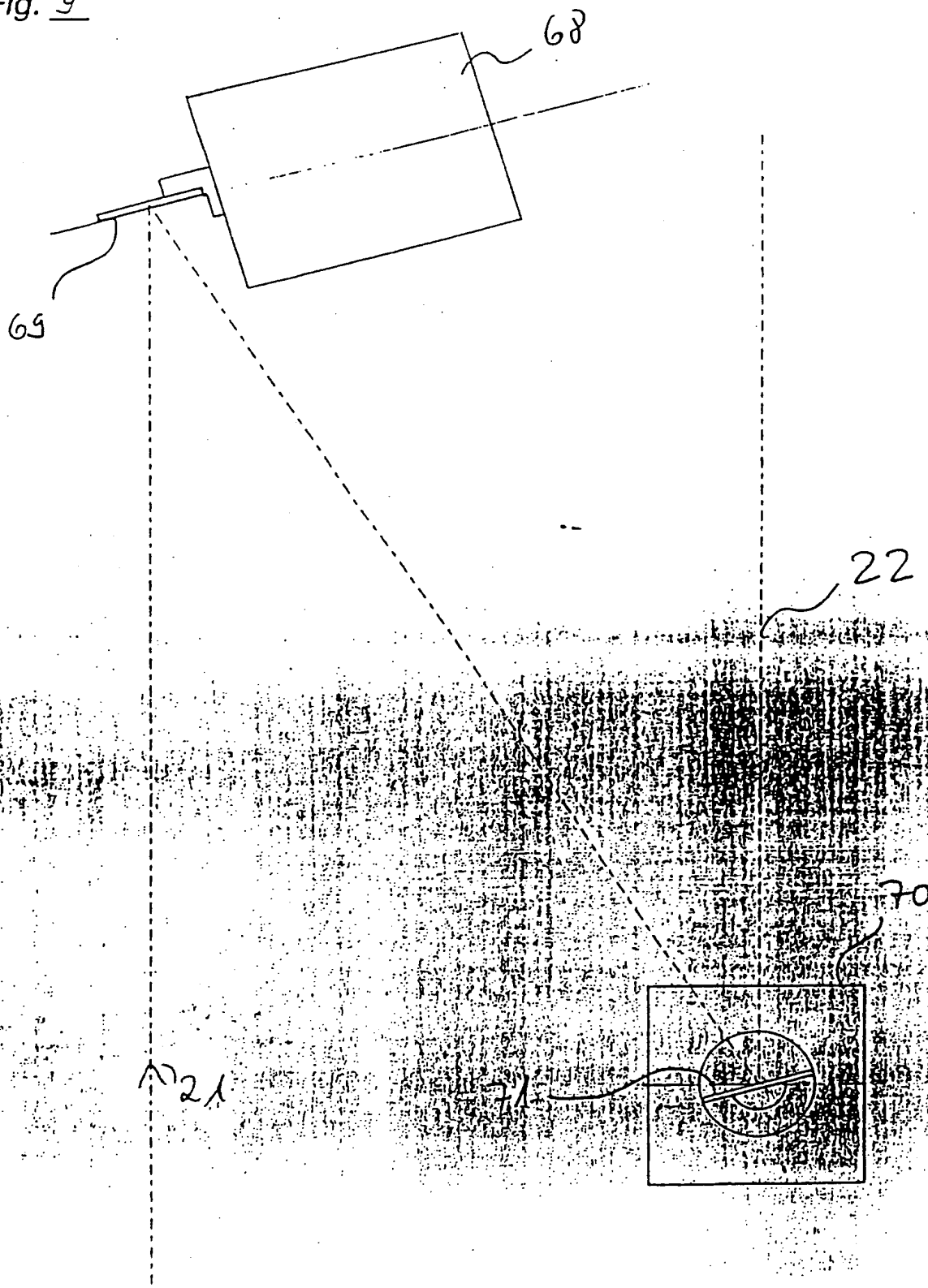


Fig. 8



9/10

Fig. 9



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Intern: al Application No

PCT/EP 08/06914

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 B23K26/00 B23K26/04 B23K26/08 H05K3/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 B23K H05K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	EP 0 884 128 A (IBIDEN CO LTD) 16 December 1998 (1998-12-16) the whole document ---	1,6,9 3-5,7,8
X A	US 5 690 846 A (NAKAI IZURU ET AL) 25 November 1997 (1997-11-25) the whole document ---	1 2
A	US 5 751 588 A (FREEDENBERG CANDACE J ET AL) 12 May 1998 (1998-05-12) the whole document -----	1

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

A document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

E earlier document but published on or after the international filing date

L document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

O document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

P document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

T later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

X document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

Y document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

& document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

29 November 2000

Date of mailing of the international search report

06/12/2000

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Aran, D

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

P 00/06914

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0884128 A	16-12-1998	JP 10156570 A	16-06-1998
		JP 10150279 A	02-06-1998
		JP 10200269 A	31-07-1998
		JP 3023320 B	21-03-2000
		JP 10200270 A	31-07-1998
		WO 9822252 A	28-05-1998
US 5690846 A	25-11-1997	JP 3077539 B	14-08-2000
		JP 8174256 A	09-07-1996
US 5751588 A	12-05-1998	US 5620618 A	15-04-1997
		US 5541731 A	30-07-1996
		US 5626778 A	06-05-1997
		US 5618454 A	08-04-1997

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Intern: Sales Aktenzeichen

PCT/EP 00/06914

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDS
IPK 7 B23K26/00 B23K26/04 B23K26/08 H05K3/00

Nach der internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 B23K H05K

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X A	EP 0 884 128 A (IBIDEN CO LTD) 16. Dezember 1998 (1998-12-16) das ganze Dokument	1,6,9 3-5,7,8
X A	US 5 690 846 A (NAKAI IZURU ET AL) 25. November 1997 (1997-11-25) das ganze Dokument	1 2
A	US 5 751 588 A (FREEDENBERG CANDACE J ET AL) 12. Mai 1998 (1998-05-12) das ganze Dokument	1

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen:
 A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
 E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
 L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
 O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
 P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
 X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
 Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
 G Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

29. November 2000

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

06/12/2000

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde
 Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl.
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Aran, D

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
P 00/06914

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 0884128 A	16-12-1998	JP 10156570 A	16-06-1998
		JP 10150279 A	02-06-1998
		JP 10200269 A	31-07-1998
		JP 3023320 B	21-03-2000
		JP 10200270 A	31-07-1998
		WO 9822252 A	28-05-1998
US 5690846 A	25-11-1997	JP 3077539 B	14-08-2000
		JP 8174256 A	09-07-1996
US 5751588 A	12-05-1998	US 5620618 A	15-04-1997
		US 5541731 A	30-07-1996
		US 5626778 A	06-05-1997
		US 5618454 A	08-04-1997

BERICHTIGTE FASSUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
1. Februar 2001 (01.02.2001)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 01/007195 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: B23K 26/00,
26/04, 26/08, H05K 3/00

(30) Angaben zur Priorität:
199 33 872.8 23. Juli 1999 (23.07.1999) DE

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP00/06914

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): HEIDELBERG INSTRUMENTS MIKROTECH-
NIK GMBH [DE/DE]; Tullastraße 2, 69126 Heidelberg
(DE).

(22) Internationales Anmeldedatum:
19. Juli 2000 (19.07.2000)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(72) Erfinder; und

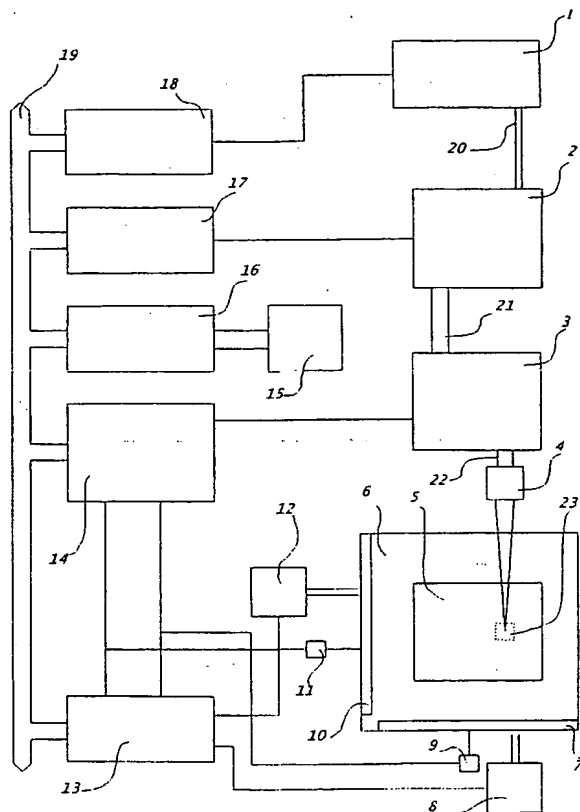
(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): VOGLER, Sven
[DE/DE]; Brückenstraße 11, 69120 Heidelberg (DE).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD OF PRODUCING MICROBORE HOLES

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR ERZEUGUNG VON MIKROBOHRUNGEN



(57) Abstract: The invention relates to a method of producing microbore holes in a multi-layer substrate (5), especially a printed board substrate which is displaced below a writing optics (4) by means of an XY plate (6), using said optics to generate a spot of a light source (1), especially a laser. The aim of the invention is to reduce the treatment time and preferably to compensate for advantages of the material of the substrate. To this end, the position of the spot within a working field is changed simultaneously with the treatment positions by means of electronically controlled, movable mirrors. The position of the substrate is specifically determined by means of an interferometer (9, 11) and the signals that correspond to the substrate position are processed to an actual position of the table system by means of a suitably equipped processing unit (16). Said processing unit (16) is preferably provided with all bore hole coordinates and additional information such as bore hole diameter, especially in a tabular form.

(57) Zusammenfassung: Das Verfahren dient zur Erzeugung von Mikrobohrungen in einem mehrlagigen Substrat (5), insbesondere einem Leiterplattensubstrat, welches mittels eines XY-Tisches (6) unter einer Schreiboptik (4) bewegt und mittels welcher ein Spot einer Lichtquelle (1), insbesondere eines Lasers, erzeugt wird. Die Bearbeitungszeit mittels des Verfahrens soll reduziert werden und bevorzugt sollen Materialvorteile des Substrats kompensiert werden. Hierzu wird vorgeschlagen, dass gleichzeitig mit den Bearbeitungspositionen entsprechend die Position des Spots innerhalb eines Arbeitsfeldes durch elektronisch gesteuerte, bewegliche Spiegel verändert wird, dass insbesondere mittels eines Interferometers (9, 11) die Bestimmung der Substratposition durchgeführt wird und

dass mittels eines geeignet ausgerüsteten Rechnersystems

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 01/007195 A1



KAPLAN, Roland [DE/DE]; Lise-Meitner-Strasse 18,
69126 Heidelberg (DE).

Veröffentlicht:

mit internationalem Recherchenbericht

(74) **Anwalt:** KLOSE & SCHMITT; Sophienstrasse 17,
68165 Mannheim (DE).

(48) **Datum der Veröffentlichung dieser berichtigten**

Fassung:

6. September 2002

(81) **Bestimmungsstaaten (national):** JP, US.

(15) **Informationen zur Berichtigung:**

siehe PCT Gazette Nr. 36/2002 vom 6. September 2002,
Section II

(84) **Bestimmungsstaaten (regional):** europäisches Patent (AT,
BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC,
NL, PT, SE).

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen
Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on
Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe
der PCT-Gazette verwiesen.*

(16) die der Substratposition entsprechenden Signale zu einer Ist-Position des Tischsystems verarbeitet werden, wobei dem Rech-
nersystem (16) vorzugsweise sämtliche Bohrlochkoordinaten sowie Zusatzinformationen, wie Bohrl Lochdurchmesser, insbesondere
in Tabellenform, zur Verfügung gestellt werden.

Verfahren zur Erzeugung von Mikrobohrungen

Das Licht eines gepulsten Lasers, z.B. UV-Licht eines frequenzvervielfachten Nd-YAG Lasers oder Infrarot-Licht eines CO₂-Lasers, kann zur Erzeugung von Bohrungen in Materialien verwendet werden, welche zur Herstellung von elektronischen Leiterplatten dienen.

Die Parameter der verwendeten Lichtquelle und der benutzten Optik, z.B. Laser-Leistung, Pulsdauer, Spotgröße sind allgemein bekannt. Gegenwärtige Bearbeitungs-System bestehen grundsätzlich aus einem XY-Tisch welcher das zubearbeitende Substrat unter einem, den optischen Anforderungen entsprechenden, Optikaufbau positioniert. Der Optikaufbau erfüllt zwei Aufgaben: 1. Erzeugung eines intensiven gepulsten Laser-Spots zur Bearbeitung des Substrates an der geforderten Position, 2. Erkennung vorgegebener Substrat-Marken, aus vorrausgegangenen Produktionsschritten, zur Bestimmung der Position. Dieser Schritt erfordert ein Bildverarbeitungssystem bestehend aus elektronischer Kamera und einem geeignet ausgerüstetem Computersystem, welches aus den Kamerasignalen die gewünschte Positionsinformation ermittelt. Insgesamt wird die Genauigkeit der Lage der Bohrungen im Substrat, relativ zu vorgegebenen Marken, durch die Positionsgenauigkeit des Tischsystems, der Spot-Positioniergenauigkeit des optischen Strahlformung-Systems sowie des optischen Meßsystems bestimmt. Bei modernen Leiterplatten, aufgebaut aus mehreren Lagen von Leitern und Isolationsmaterial, treten während der einzelnen Produktionsschritten Materialverzüge auf, so daß es notwendig ist die Bohrungsmuster der individuellen Verzerrung des Grundsubstrates anzupassen. Hierzu ist wiederum eine sehr hohe Meß- sowie Positioniergenauigkeit von Tischsystem und Strahloptik erforderlich. Aus

wirtschaftlichen Gründen ist es unbedingt notwendig die Bearbeitungszeit insgesamt als auch für jede zu erstellende Bohrung so gering wie möglich zu halten. Je nach Anwendung bzw. Technologie der Leiterplatte sind Bohrungsdurchmesser von wenigen 1/10 mm bis herab zu 50µm einzuhalten. Da der Spotdurchmesser des Laserstrahls, bei typischen UV-Laserbearbeitungssystemen ca. 25µm beträgt, müssen abweichende Bohrungsdurchmesser durch Aneinanderreihung von einzelnen Bearbeitungsschritten, im folgenden Schüsse genannt, erstellt werden. Der Materialabtrag durch mehrfaches schießen entlang einer passend gewählten, meist spiralförmigen, Bahn nennt man 'nibbling'. Obwohl dieses Verfahren erlaubt beliebige Bohrungsdurchmesser zu erstellen, weist es den Nachteil auf, sehr zeitaufwendig zu sein. Da der Energiebedarf pro Schuß stark vom zu bearbeitenden Material abhängt läßt sich die Bearbeitungsstrategie optimieren. Steht genügend Energie pro Laserpuls zur Verfügung erreicht man eine erhebliche Durchsatzsteigerung wenn statt des 'nibbling'-Verfahrens ein geeigneter, größerer, Spotdurchmesser gewählt wird, und nur durch einen Schuß der erforderliche Materialabtrag für den gewünschten Bohrungsdurchmesser bewerkstelligt wird. Die Grundlage der hier neu vorgestellten Methode beruht auf der Möglichkeit den Spotdurchmesser des zur Bearbeitung verwendeten Laserstrahls in sehr kurzer Zeit zu variieren und so Bohrbilder unterschiedlicher Durchmesser in einem Arbeitsgang zu erstellen.

Die Erfindung gemäß **Anspruch 1** wird im folgenden anhand der Fig.1-10 der beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Im einzelnen zeigen

Fig.1 ein Ausführungsbeispiel einer Vorrichtung nach der Erfindung;

Fig.2 ein Schema des Strahlenganges;

Fig.3 ein Schema der Bildverarbeitungsbaugruppe;

Fig.4 eine Prinzipdarstellung des in der Vorrichtung der Fig.1 verwendeten steuerbaren Strahlaufweitung unter Verwendung von Galvanometerspiegeln;

Fig. 5 eine Prinzipdarstellung der stufenlos verstellbaren Strahlaufweitung auf der Basis aktiver Spiegelemente;

Fig. 6 eine Prinzipdarstellung des Strahlengangs zur Vermessung und Regelung der Strahlaufweitung mittels aktiver Spiegel;

Fig. 7 eine Prinzipdarstellung des in der Vorrichtung der Fig.1 verwendeten variablen Strahlpositionierung durch piezogetriebene verstellbare Spiegel;

Fig. 8 eine Prinzipdarstellung des in der Vorrichtung der Fig.1 verwendeten variablen

Strahlpositionierung durch Akusto-optische Deflektoren;

Fig. 9 eine Prinzipdarstellung des in der Vorrichtung der Fig.1 verwendeten variablen Strahlpositionierung durch galvanometergetriebene verstellbare Spiegel;

Fig. 10 eine Prinzipdarstellung der Steuerung der Ablenkeinheit.

In Fig.1 ist mit 1 ein als Lichtquelle verwendeter Laser bezeichnet, beispielsweise ein Frequenzverdreifacher Nd-YAG Laser. Der Laser emittiert einen kurzen sehr kräftigen Lichtimpuls, Dauer ca. 10-20ns, Energie ca. 10^{-4} Joule, sobald ein Startsignal vom Steuerrechner 16 bei der Laserelektronik 18 eintrifft. Das vom Laser emittierte Licht 20 tritt in die variable Strahlaufweitungsoptik 2 ein. Der Durchmesser des Ausgangsstrahl 21 variiert entsprechend der über die Steuereinheit 17 vom Rechner 16 eingestellte Aufweitungsverhältnis, Details in Fig. 4,5 bzw. Fig.6. Das Licht welches in die Strahlableinheit 3 eintritt wird entsprechender der Steuersignale der Kontrolleinheit 14 über zwei Ablenkeinheiten geführt, Fig. 7,8 und 9, so daß der austretende Strahl 22 unter veränderbarem Einfallswinkeln, separat steuerbar in X- und Y-Richtung, in das Objektiv 4 tritt. Das Objektiv bildet das als ebene Welle einfallende Licht in einem Lichtfleck, im folgenden Spot genannt, auf dem zubearbeitenden Substrat 5 ab. Die XY-Position an der der Spot das Substrat 5 innerhalb der Schreibfenster 23 trifft, hängt vom Einfallswinkel in das Objektiv und der Brennweite des Objektivs ab, Fig. 2. Bei kleinen Ablenkungswinkeln, Detail 24 Fig.2, $\alpha < 8\text{mrad}$ kann eine Auslenkung, Detail 25 Fig.2, und damit ein Schreibfenster, gemäß

$$\delta x = \alpha * F \quad [1]$$

von ca. 2-4mm erreicht werden. Der Durchmesser, Detail 27 Fig.2, des Spots auf dem Substrat hängt vom Durchmesser, Detail 26 Fig.2, des einfallenden Lichtstrahls ab,

$$d = 1.21 * \lambda * F / D. \quad [2]$$

Wobei

δx - Spotposition relative zum Schreibfenster

α - Einfallswinkel

F - Brennweite des Objektivs

d - Durchmesser des Spots

λ - Wellenlänge des verwendeten Lichtes

D - Durchmesser des einfallenden Strahls

Bei geringer Strahlaufweitung erhält man einen großen Spot auf dem Substrat, bei großer Aufweitung wird das Licht stärker gebündelt und man erhält einen kleineren Spotdurchmesser und

damit kleinere Bohrungsdurchmesser im Substrat.

Das zubearbeitende Substrat 5 wird auf dem XY-Tisch durch geeignete Maßnahmen, z.B. Vacuumansaugung oder Klemmvorrichtung, festgehalten. Auf gleicher Höhe wie das Substrat befinden sich auf dem XY-Tisch zwei Interferometerspiegel, X-Spiegel 7 Y-Spiegel 10. Mit Hilfe der Interferometer-Meßköpfe, X-Meßkopf 9 Y-Meßkopf 11, wird die momentane Position des XY-Tisches mit hoher Auflösung und Geschwindigkeit gemessen. Die Signale des Interferometersystems werden sowohl der Tischpositionierelektronik 13 als auch der Strahlablenksteuerung 14 zugeführt. Die Positioniereinheit 13 steuert die Antriebseinheiten des Tisches so daß die vom Rechner 16 vorgegebene Bahn bzw. Position erreicht wird. Abschließend sei die Bildaufnahme und Verarbeitungseinheit 15 genannt. Die Bildaufnahmeeinheit Fig. 3, entspricht der eines Auflichtmikroskops, bestehend aus einer Lichtquelle 29, Beleuchtungsstrahlengang 30, Objektiv 31, sowie der elektronischen Kamera 32 und der davor angeordneten Feldlinse 33. Die Signale der Kamera werden dem lokalen Bildverarbeitungsrechner 34 zugeführt. Der Strahlengang der Bildaufnahme ist parallel zum Bearbeitungsstrahlengang angeordnet, so daß durch Verfahren des XY-Tisches das gesamte Substrat unter das Kameraobjektiv 31 gebracht werden kann und somit zu Vermessungszwecken dem Bildbearbeitungsrechner zur Verfügung steht.

Die Baugruppen 13-18 stehen untereinander über ein heterogenes Bussystem 19 in Verbindung. Die Bildverarbeitungseinheit 15 und die Steuereinheit 14 der Strahlablenkung stehen über einen parallelen Datenbus mit dem zentralen Steuerrechner 16 in Verbindung, da größere Datenmengen ausgetauscht werden sollen.

Beschreibung des Ablaufs des Bearbeitungsvorganges gemäß **Anspruch 2**.

Das Substrat 5, welches auf dem XY-Tisch 6 fixiert ist, wird so unter dem Schreiboptik 4 positioniert, daß die Bohrlochkoordinaten innerhalb des Schreibfensters 23 liegen. Hat der XY-Tisch 6 die Koordinate X_{Tisch}, Y_{Tisch} angefahren und besitzt die Strahlablenkeinheit 3 in Verbindung mit dem Objektiv 4 entsprechend Gleichung [2] einen Scanbereich von $\delta x, \delta y$ so lassen sich alle Bohrungen der Koordinaten im Bereich

$$\begin{aligned} X_{Tisch} - \delta x &< X_{Bohrung} < X_{Tisch} + \delta x \\ Y_{Tisch} - \delta y &< Y_{Bohrung} < Y_{Tisch} + \delta y \end{aligned} \quad [3]$$

bearbeiten. Die Ansteuersignale für die Strahlablenkung 3 werden vom Rechner 16 aus Bohrloch-sollkoordinate und Tischkoordinate berechnet. Beide Koordinatenwerte liegen in den Grundeinheiten des Interferometers, im folgenden Ticks genannt, vor. Die Größe dieser Ticks hängt vom Arbeitsprinzip des Interferometers und der Wellenlänge des verwendeten Lichtes ab. Typischer-

weise kommt ein HeNe-Laser, welcher Licht mit einer Wellenlänge von ca. $\lambda_{\text{HeNe}} \approx 633\text{nm}$ emittiert, zum Einsatz. Daraus ergibt sich z.B. eine Tick-Größe von ca. $\lambda_{\text{HeNe}}/16 \approx 40\text{nm}$. Nach dem Positionierungsvorgang befindet sich der XY-Tisch an den Koordinaten

$$X_{\text{Tisch ist}} = X_{\text{Tisch soll}} + \varepsilon_x \quad [4]$$

$$Y_{\text{Tisch ist}} = Y_{\text{Tisch soll}} + \varepsilon_y$$

wobei ε_x und ε_y den statischen Positionierfehler des Tischsystems bezeichnen.

$$X_{\text{Ablenk}} = X_{\text{Bohrung}} - X_{\text{Tisch soll}} - \varepsilon_x \quad [5]$$

$$Y_{\text{Ablenk}} = Y_{\text{Bohrung}} - Y_{\text{Tisch soll}} - \varepsilon_y$$

Die berechneten Werte, X_{Ablenk} und Y_{Ablenk} , kompensieren daher den Positionsfehler des Tischsystems. Das Ergebnis

$$X_{\text{Ablenk}} = X_{\text{Bohrung}} - X_{\text{Tisch ist}} \quad [6]$$

$$Y_{\text{Ablenk}} = Y_{\text{Bohrung}} - Y_{\text{Tisch ist}}$$

liegt zunächst als ganzzahliger Wert in Tick-Einheiten vor. Zur Ansteuerung der Strahlablenkeinheit wird jedoch im Allgemeinen eine analoge Spannung, z.B. im Bereich von 0-10Volt, benötigt, welche aus einer vom Rechner zu ladenden Digital-Analog-Wandler Einheit gewonnen wird. Es liegt eine feste Zuordnung von Ausgangsspannung dieser Baugruppe und dem eingeschriebenen Wert vor. Die berechneten Werte für die Strahlablenkung müssen daher umskaliert werden. Diese Skalierungsoperation erfordert zusätzliche Rechenkapazität wenn sie programmgesteuert im Rechner abläuft. Kommt ein nichtlinearer Zusammenhang zwischen Ansteuerspannung der Strahlablenkeinheit und der bewirkten Ablenkung hinzu, lassen sich die benötigten Rechenoperationen nur durch einen sehr schnellen, und daher unwirtschaftlichen, Rechner bewerkstelligen. Aus diesem Grund, Anspruch 5, wird die Skalierungsoperation durch eine festverdrahtete Elektronikbaugruppe innerhalb der Steuerung der Ablenkeinheit 14 durchgeführt, Fig. 10. In Fig. 10 sind die Grundbaugruppen zur Ansteuerung eines Strahlablenkkanals, X und Y sind identisch aufgebaut, dargestellt. In einem einmalig durchzuführenden Vorbereitungsschritt wird eine Skalierungstabelle in den Speicher 73 geladen. Der Rechner schreibt hierzu die gewünschte Adresse in den als Eingangsregister arbeitenden Vor-/Rückwärtszähler 72 und die entsprechenden Daten in die Zugriffssteuerung 75, in dieser Phase ist der D/A-Wandler 74 deaktiviert. Um die Skalierungsoperationen durchzuführen legt der Rechner die berechneten X_{Ablenk} - bzw. Y_{Ablenk} -Werte an den Positionszähler. Dessen Ausgänge adressieren den Speicher 73. Der aus dem Speicher ausgelesene Wert wird an den Digital/Analog-Wandler 74 weitergegeben und bestimmt damit die Ansteuerspannung für die Strahlablenkeinheit 3. Für jeden möglichen Eingangswert muß im Speicher 73 ein skaliertes

Ausgabewert vorgehalten werden. Der Wertebereich der Ablenkwerte aus Gleichung [6] wird durch den optisch möglichen Ablenkbereich begrenzt. Geht man von einer Adressbreite von 20bit am Speicher 73 aus, lassen sich $2^{20} \approx 1000000$ Werte, ablegen. Bei einer Tickgröße von 40nm ergibt sich ein maximaler Ablenkbereich von ca. 40mm. Da sich der Adressbereich leicht erweitern läßt, sind Arbeitsbereiche bis über 100mm möglich und werden praktisch nur von dem optisch möglichen begrenzt.

Bei großflächigen Substraten ergebe sich bei oben beschriebenen Methode ein geringen Durchsatz da das Tischsystem pro Bearbeitungsfeld einen Positioniervorgang durchführen muß. Um dies zu vermeiden kann das Tischsystem kontinuierliche Bewegungen durchführen, wobei der nun dynamische Fehler ausgeglichen werden muß, **Anspruch 3**. Bei einer kontinuierliche Tischbewegung muß der Laserspot der Substratbewegung nachgeführt werden um mehrfach die gleiche Substratstelle bearbeiten zu können. Bewegt sich das Tischsystem mit den Geschwindigkeiten v_x und v_y so muß der Laserstrahl entsprechend

$$X_{\text{Ablenk}}(t) = X_{\text{Bohrung}} - X_{\text{Tisch ist},T0} - v_x * t \quad [7]$$

$$Y_{\text{Ablenk}}(t) = Y_{\text{Bohrung}} - Y_{\text{Tisch ist},T0} - v_y * t$$

zeitabhängig abgelenkt, nachgeführt, werden. Die Ablenkwerte setzen sich aus einem statischen Teil, nur abhängig von der Koordinate der zu erzeugenden Bohrung und einer wählbaren Tischkoordinate, sowie einem von der momentanen Tischgeschwindigkeit bestimmten Komponente zusammen. In dieser Betriebsart bewegt sich der Tisch 6 und mit ihm das Substrat 5 mit einer, nicht unbedingt konstanten, Geschwindigkeit z.B. entlang der Y-Achse. Der Rechner 16 berechnet die benötigten Ablenkwerte und vergleicht diese mit den maximal möglichen Werten. Sobald diese Werte klein genug sind, d.h. die Bohrlochkoordinate im Bearbeitungsfenster erscheinen, wird der statische Teil aus Gl. 7

$$X_{\text{Start}} = X_{\text{Bohrung}} - X_{\text{Tisch ist},T0} \quad [8]$$

$$Y_{\text{Start}} = Y_{\text{Bohrung}} - Y_{\text{Tisch ist},T0}$$

berechnet und in den Zähler 72 geladen. Der dynamische Fehler, $v*t$, wird durch zählen der Interferometersignale im Zähler 72 kompensiert. Bei einer Tischgeschwindigkeit von z.B. 100mm/s in Y-Richtung und einer Interferometerauflösung, Tickgröße, von ca. 40nm, werden pro Sekunde ca. $2,5*10^6$ Zählsignale, bei einem mittlerem zeitlichen Abstand ca. 400ns, vom Interferometer 11 an den Y-Zähler 72 geliefert. Der Ausgang dieses Zählers repräsentiert damit den sich ständig ändernden Ablenkwert für die Y-Achse und wird gemäß Anspruch 5 umskaliert und zur Ansteuerung der Strahlablenkeinheit 3 verwendet. Da für beide Bewegungsachsen identisch aufgebaute

Ablenksteuerungen, nach Fig. 10, vorhanden sind ist die vektorielle Bewegungsrichtung nicht eingeschränkt. Da der Zähler 72, identisch für X- und Y-Richtung, als Vor-/Rückwärtszähler ausgelegt ist kann sowohl ein positiver als auch ein negativer dynamischer Fehler kompensiert werden. Die Bewegungsart des Tischsystems ist damit frei wählbar und kann zur Durchsatzsteigerung optimiert werden.

In der bisherigen Beschreibung der Erfindung wurde davon ausgegangen, daß die Bohrlochkoordinaten feste Werte darstellen. Da insbesondere Mehrlagen-Substrate während der Herstellung verschiedenste Prozessschritte durchlaufen müssen ist deren Maßhaltigkeit nur bedingt gegeben. Da die Position der Bohrungen unterschiedlicher Lagen aufeinander abgestimmt sind dürfen vorgegebene Positionstoleranzen nicht überschritten werden. Dies würde jedoch erfolgen, wenn die Bohrlochkoordinaten starr, d.h. unabhängig vom aktuell zu bearbeitenden Substrat, festgehalten würden. Wäre das Materialverhalten vollständig bekannt und die Prozessschritte keinen Schwankungen unterworfen so könnten die Bohrlochkoordinaten im Voraus korrigiert werden. Da jedoch Prozeß- und Materialparameter Schwankungen unterworfen sind ist eine Vorkorrektur nur für entsprechend kleine Substrate sinnvoll. Da die Restfehler trotz Vorkorrektur im allgemeinen proportional zur Substratgröße sind ist ein solches Verfahren für große Substrate nicht akzeptabel. Durch eine dynamische Korrektur der Substratverzerrungen, **Anspruch 4**, läßt sich diese Einschränkung überwinden. Erster Schritt in diesem neuen Verfahren ist die Vermessung des Substrates. Auf dem Substrat müssen Markierungen, Alignmentmarken, vorhanden sein deren Sollkoordinaten bekannt sind. Diese Marken wurden z.B. im vorausgehenden Bearbeitungsschritt erstellt und müssen ggf. freigelegt werden um optisch mittels des Kamerasystems 15 erfaßbar zu sein. Je nach Anzahl der zur Verfügung stehenden Marken lassen sich unterschiedliche Fehler bzw. Verzerrungen erfassen und somit kompensieren. Die Vermessung des Substrates bedeutet zunächst die Bestimmung der absoluten Koordinaten der Marken in Bezug auf das Tischkoordinatensystem. Hierzu positioniert der Tisch 6 das Substrat 5 derart, daß die Alignmentmarke im Bildfeld des Kamerasystems 15 erscheint. Der zugehörige Bildverarbeitungsrechner ermittelt die Koordinate relative zum Mittelpunkt des Bildfeldes. Die absoluten Koordinaten ergeben sich aus der Addition von Bildschirmkoordinaten, d.h. skallierter Bildpunktabstand, und Tischkoordinaten gemessen über das Interferometermeßköpfe 9 und 11. Durch Vermessen einer Marke wird es möglich das benutzte Tischkoordinatensystem so zu verschieben, daß es deckungsgleich wird zu einem gedachten Koordinatensystem auf dem Substrat. Diese Deckung ist, auf Grund der Substratverzerrung, allerdings nur für die eine vermessene Marke gewährleistet. Durch Vermessen einer weiteren Marke

und Vergleich mit deren Sollposition wird eine mögliche Verdrehung des Substrates

$$\varphi = (Y_{\text{istMark1}} - Y_{\text{istMark2}}) / (X_{\text{istMark1}} - X_{\text{istMark2}}) \quad [9]$$

zur Bewegungsrichtung des Tisches sowie ein Längenverzerrung

$$\xi_x = (X_{\text{ist Mark1}} - X_{\text{ist Mark2}}) / (X_{\text{soll Mark1}} - X_{\text{soll Mark2}}) \quad [10]$$

in einer Achse erfaßt. In Gleichung 9 u. 10 wird davon ausgegangen, daß sich die beiden Marken auf gleicher Höhe, d.h. gleicher Y-Koordinate, und am linken und rechten Rand des Substrates befinden. Dies muß im allgemeinen nicht der Fall sein und verändert dieses Verfahren nicht, es müssen jedoch die dann bekannten Versätze in X- wie in Y-Richtung in den Gleichungen einfließen. Stehen weiter Alignmentmarken zur Verfügung dient deren Vermessung zur Ermittlung der Längenverzerrung in Y-Richtung, analog zu Gl. 10, bzw. durch Mittelwertbildung zur Verbesserung der Meßgenauigkeit. Nach dem der erste Schritt, Parameterisierung des Auflagefehlers und Erfassung der Substrat Verzerrung, abgeschlossen ist erfolgt die Kompensation dieser Effekte während des Bearbeitungsvorganges. Hierbei ist, insbesondere für Substrate welche Mehrfachnutzen enthalten, zwischen globalen Auflagefehlern und lokale, d.h. für jedes Nutzen getrennt bestimmbarer Parameter zu unterscheiden. Die globalen Auflagefehler werden durch Translation und Rotation des Tischkoordinatensystems kompensiert. Zur Kompensation der lokalen Verzerrungseffekte und ggf. der aufgetretenen Rotation bzw. Translation des Einzelnutzen relative zum Gesamtsubstrat müssen die Bohrlochkoordinaten für jedes Nutzen separat transformiert werden.

$$\begin{aligned} X_{\text{Bohrung}} &= G_{xx} * X_{\text{Design}} + G_{xy} * Y_{\text{Design}} + G_{xz} \\ Y_{\text{Bohrung}} &= G_{yx} * X_{\text{Design}} + G_{yy} * Y_{\text{Design}} + G_{yz} \end{aligned} \quad [11]$$

Die numerischen Werte der Transformationsparameter G_{ij} berechnen sich aus den gemessenen Verzerrungsparametern.

Kern des Verfahrens, nach Anspruch 4, ist, daß nach dem Erfassen sämtlicher relevanter Verzerrungsparameter die, in idealen Design-Koordinaten vorliegenden, Bohrlochkoordinaten während der Bearbeitungsphase in das reale Tischkoordinatensystem transformiert werden wobei die Variation der Parameter für Mehrfachnutzen auf einem Substrat berücksichtigt wird und somit der Aufwand für Speicherplatz und anfallende Rechen- und Vergleichsoperationen minimiert wird.

Um einen wirtschaftlichen Betrieb einer Anlage entsprechend dieser Erfindung zu ermöglichen muß der Durchsatz maximal sein. D.h. die Bearbeitungszeit pro Bohrung soll minimal sein. Der zur Erstellung der Bohrung benötigte Materialabtrag ist abhängig von der Energiedichte auf der Substrat-

oberfläche. Bei einem relativ schwachen Laser muß der Laserstrahl stark gebündelt sein um einen nennenswerten Abtrag zu erreichen, d.h. aber auch , daß der Durchmesser des Loches bei einmaligem Auslösen des Lasers klein ist in Relation zu dem vom Design geforderten Lochdurchmessers. Das zusammensetzen von Bearbeitungsschritten kosten sehr viel Zeit und läßt sich umgehen, wenn der Spotdurchmesser dem Bohrungsdurchmesser angepaßt werden kann. Die hier beschriebene Erfindung, **Anspruch 6 und 7**, kann die Spotgröße durch verändern der Strahlaufweitung schnell variieren. In Fig. 4 ist der prinzipielle Aufbau der Anordnung zur stufenweisen Veränderung des Strahldurchmessers skizziert, **Anspruch 6**. Die Anordnung besteht aus paarweise angeordneten Aufweitungslinsen, ihr abstand entspricht der Summe ihrer Brennweiten, s.d. ein paralleles Strahlenbündel eine feste Aufweitung erfährt

$$F1 / F2 = D1 / D2 \quad [12]$$

wobei F1 - Brennweite der Eingangslinse
 F2 - Brennweite der Ausgangslinse
 D1 - Strahldurchmesser am Eingang
 D2 - Strahldurchmesser am Ausgang

Durch Umschalten des Strahlenganges stehen mehrere feste Aufweitungen zur Auswahl. Die Umschaltung erfolgt über die Galvanometerspiegel 35 und 36 , die Hilfsspiegel sind erforderlich um eine parallele Montage der Aufweitungslinsenpaare zu ermöglichen. Um eine stufenlose Aufweitungsvariation zu ermöglichen wird ein weiteres optisches System eingesetzt, Fig. 5 . Es besteht aus zwei aktiven Spiegelementen 41 und 42. Der einfallende parallel Strahl läuft nach Reflexion am konvexen Spiegel 42 auseinander. Nach Reflexion am konkaven Spiegel 41 ist er wieder parallel unter der Bedingung:

$$a = f3 + f4 \quad [13]$$

wobei a - Abstand der Spiegel
 f3 - Brennweite konkaver Spiegel
 f4 - Brennweite konvexer Spiegel .
 D3 - Strahldurchmesser vor Spiegeln
 D4 - Strahldurchmesser nach variabler Aufweitung

Für das Verhältnis der Strahldurchmesser vor und hinter dieser Anordnung gilt, analog zu [12]

$$f3 / f4 = D3 / D4 \quad [14]$$

Durch einen geeignet gewählten Einfallswinkel kann erreicht werden, daß der Laserstrahl mehrfach an dem Spiegelpaar reflektiert wird. Da der Strahldurchmesser bei jedem Durchlauf gemäß Gl. [14]

- 10 -

erweitert wird potenziert sich die Gesamtwirkung auf den Laserstrahl. Die Gesamtaufweitung ergibt sich zu

$$D_{\text{aus}} = D_{\text{ein}} * (f_3 / f_4)^N \quad [15]$$

wobei

D_{aus} - Strahldurchmesser nach variabler Aufweitung

D_{ein} - Strahldurchmesser vor variabler Aufweitung

N - Anzahl der Mehrfachreflektionen

Wird z.B. $N=8$ erreicht, genügt eine Aufweitung von ca. 10%, d.h. $D_3/D_4=f_3/f_4 \approx 1.1$, um eine Gesamtaufweitung von Faktor 2 zu erreichen. In Verbindung mit der einer in Potenzen von 2 abgestuften Strahlaufweitung nach Anspruch 6, Fig. 4, ist eine stufenlose Wahl des Strahldurchmessers und damit der Spotgröße auf dem Substrat möglich. Die Umschaltung, d.h. die Änderung des Strahldurchmessers, erfolgt einerseits durch Verändern der Ansteuersignale für die Galvanometerdrehspiegel in der Anordnung nach Fig. 4, so daß der Laserstrahl über ein anderes Linsenpaar geführt wird. Zum anderen wird parallel dazu die Ansteuerspannung des aktiven Spiegelpaares geändert, Fig. 5.

Die Brennweite eines aktiven Spiegels hängt von der angelegten Spannung sowie einigen Materialfaktoren und den gewählten Betriebsbedingungen ab. Um eine stabile und insbesondere reproduzierbare Arbeitsweise zu erhalten kontrolliert für diese Erfindung ein Regelkreis die Steuerspannungen der aktiven Spiegel, Anspruch 8. In Fig. 6 ist der zur Vermessung der Strahlaufweitung durch die aktiven Spiegel verwendete Strahlengang gezeigt. Ausgehen von einer Lichtquelle, z.B. ein Halbleiterlaser 43, wird mit Hilfe einer Lochblende 44 und einer Kolimatorlinse 45 und einer Kreisblende 46 ein paralleler Lichtbündel erzeugt. Dieses Lichtbündel wird durch den Strahlteiler 47 in einen Referenzstrahl und einen Meßstrahl aufgeteilt. Der Meßstrahl wird durch Spiegel 47 parallel zum Ausgangsstrahl über die aktiven Spiegel 41 und 42 geführt. Er durchläuft die Spiegelanordnung zweimal da er beim Austritt durch zwei Hilfsspiegel 49 und 50 zurück geschickt wird. Sind die aktiven Spiegel korrekt angesteuert, verläßt der Meßstrahl diese parallel zur Einfallsachse und um einen definierten Abstand versetzt. Diese beiden Parameter werden durch Abbilden des Meß- und Referenzstrahls auf zwei Sensoren erfaßt. Durch einen Strahlteiler 52 werden beide Strahlen aufgeteilt. Beide Strahlen werden einmal über den Hilfsspiegel 51 und der Kollimatorlinse 53 auf einem Zeilensensor 57 als Punkte abgebildet. Ist der Meßstrahl nicht mehr parallel zum Referenzstrahl sind die zwei Bildpunkte auf dem Zeilensensor nicht deckungsgleich. Die durch den Strahlteiler 52 ausgekoppelten Strahlen beleuchten eine halb-

kreisförmige Blende 54 . Diese Blende wird mittels Linse 55 auf einem weiteren Zeilensensor 56 abgebildet. Aus dem Profil des Ausgangssignals dieses Sensors läßt sich der parallel Versatz von Meß- und Referenzstrahl bestimmen. Die Meßsignale werden aufbereitet und dienen dem Rechner 58 als Istwertsignale mit deren Hilfe die, für die geforderten Sollwerte entsprechende, Signale für die Ansteuerungselektronik errechnet werden.

Den Abschluß der Beschreibung dieser Erfindung soll die Darstellung der Strahlablenkeinheit bilden. Die hier beschriebene Erfindung, Anspruch 2 & 3, erfordert eine schnell und genaue Strahlablenkung. Hierzu sind die im folgenden beschriebene Verfahren geeignet.

Um die für diese Erfindung notwendige Strahlablenkung durchzuführen wird der aufgeweitete Laserstrahl über zwei, senkrecht zueinander angeordneten Galvanometerspiegel, Anspruch 9, geführt, Fig. 9. Die die Spiegelposition wiedergebenden Istwertsignale werden in der Ablenksteuerung 14 dazu verwendet die Spiegel 69 und 71 mit Hilfe des Galvanometerantriebs 68 bzw. 70 so auszurichten, daß der statische Positionierfehler, Anspruch 2, kompensiert wird bzw. die Spiegel so nachzuführen, daß die dynamischen Positionsfehler, Anspruch 3 , verschwinden. Galvanometerspiegel erlauben einen großen Ablenkbereich benötigen jedoch auf Grund ihrer Bauform einen großen Abstand zum Schreibobjektiv 4. Kann mit einem kleineren Ablenkwinkel gearbeitet werden, so eignen sich Piezospiegel, Anspruch 10, zur Strahlablenkung, Fig.7. Der Piezoantrieb 60 bzw. 62 verkippt die Scan-Spiegel 61 bzw. 63 um die benötigte Strahlablenkung zu erhalten. Bei Verwendung von 2-Achsen Piezospiegeln läßt sich ein idealer telezentrischer Strahlengang verwirklichen.

Obwohl Piezospiegel bereits deutlich schneller positionieren ergibt sich immer noch eine deutliche Verzögerung zwischen Ausgabe der geforderten Sollposition durch den Rechner und Erreichen der entsprechenden Istposition durch den Spiegel. Eine deutlich geringere Positionierzeit wird erreicht, wenn die Strahlablenkung durch akusto-optische Ablenker bewirkt wird, Anspruch 11 , Fig. 8. Zur Ablenkung wird im Kristall 64 bzw. 66 durch eine akustische Welle ein Beugungsgitter erzeugt. Der Ablenkwinkel ist proportional zur räumlichen Dichte des Beugungsgitters und läßt sich daher stufenlos durch ändern der Frequenz, ca. 100-200MHz, des Ansteuersignals, eingespeist über Transducer 65 bzw. 67, einstellen. Da bei diesem Verfahren nur die Füllzeit für das Kristall, ca. 30µs bei einer Kristallgröße von ca. 20mm und einer typischen Schallgeschwindigkeit von ca. 600m/s, eine Zeitbeschränkung darstellt ist diese Vorrichtung optimal geeignet um eine schnelle und präzise Strahlablenkung zu gewährleisten.

Bezugszeichen

Fig. 1:

- 1 Laser-Lichtquelle
- 2 Variable Strahlaufweitung
- 3 Ablenkeinheit
- 4 Objektiv
- 5 Substrat
- 6 XY-Tisch
- 7 X-Interferrometerspiegel
- 8 Antriebseinheit für X-Richtung
- 9 X-Interferrometer
- 10 Y-Interferrometerspiegel
- 11 Y-Interferrometer
- 12 Antriebseinheit für Y-Richtung
- 13 XY-Tischsteuerung
- 14 Steuerung der Ablenkeinheit
- 15 Elektronische Kamera inklusive Objekt und Beleuchtung
- 16 Rechner
- 17 Ansteuerung für variable Strahlaufweitung
- 18 Ansteuerung Laser
- 19 Heterogener Systembus
- 20 Ausgangsstrahl Laser
- 21 Strahl nach variabler Aufweitung
- 22 Scannender Strahl

Fig. 2:

- 23 Hauptebene des Objektivs
- 24 Einfallswinkel
- 25 Auslenkung
- 26 Durchmesser Eintrittsstrahl
- 27 Spotgröße
- 28 Brennweite des Objektivs

Fig. 3:

- 29 Lichtquelle
- 30 Beleuchtungsstrahlengang
- 31 Objektiv
- 32 Elektronische Kamera
- 33 Feldlinse
- 34 Bildverarbeitungsrechner

Fig. 4:

- 35 Eingangs-Galvanometer-Drehspiegel
- 36 Ausgangs-Galvanometer-Drehspiegel
- 37 Hilfsspiegel E
- 38 Hilfsspiegel A
- 39 Aufweitungslinse E
- 40 Aufweitungslinse A

Fig. 5:

- 41 Aktiver Konkavspiegel
- 42 Aktiver Konvexspiegel

Fig. 6:

- 43 Lichtquelle, z.B. Halbleiterlaser
- 44 Lochblende
- 45 Kollimatorlinse 1
- 46 Kreisblende
- 47 Strahlteiler 30 %
- 48 45°-Spiegel 1
- 49 45°-Spiegel 2
- 50 45°-Spiegel 3
- 51 45°-Spiegel 4
- 52 Strahlteiler 50 %
- 53 Kollimatorlinse 2
- 54 Halbkreisblende
- 55 Abbildungslinse
- 56 Positionsdetektor 1, z.B. CCD-Zeile
- 57 Positionsdetektor 2, z.B. CCD-Zeile
- 58 Meßelektronik & Rechner

- 59 Ansteuerelektronik für aktive Spiegel

Fig. 7: Ablenkeinheit auf Basis von Piezo-Scanner

- 60 Piezo-Scanner für X-Achse
61 Scan-Spiegel X
62 Piezo-Scanner für Y-Achse
63 Scan-Spiegel Y

Fig. 8: Ablenkeinheit auf Basis von akusto-optischer Ablenkern

- 64 AOD-Kristall zur X-Ablenkung
65 Eintrittsfläche der akustischen Welle
66 AOD-Kristall zur Y-Ablenkung
67 Eintrittsfläche der akustischen Welle

Fig. 9: Ablenkeinheit auf Basis von Galvanometer-Scannern

- 68 Galvanometer-Scanner für X-Achse
69 Scan-Spiegel
70 Galvanometer-Scanner für Y-Achse
71 Scan-Spiegel

Fig. 10:

- 72 ladbarer Vor- / Rückwärtszähler
73 Speicher
74 Digital / Analog-Wandler
75 Zugriffssteuerung
76 Sollwertspannung Ablenkeinheit
77 Interferrometer Signale
78 Adressbus
79 Datenbus

Patentansprüche

1. Verfahren zur Erzeugung von Mikrobohrungen in einem mehrlagigen Substrat (5), insbesondere einem Leiterplattensubstrat, welches mittels eines XY-Tisches (6) unter einer Schreiboptik (4) bewegt wird, mittels welcher ein Spot einer Lichtquelle (1), insbesondere eines Lasers, erzeugt wird, dadurch gekennzeichnet, daß gleichzeitig mit den Bearbeitungspositionen entsprechend die Position des Spots innerhalb eines Arbeitsfeldes durch elektronisch gesteuerte, bewegliche Spiegel verändert wird, daß insbesondere mittels eines Interferrometers (9, 11) die Bestimmung der Substratposition durchgeführt wird und daß mittels eines geeignet ausgerüsteten Rechnersystems (16) die der Substratposition entsprechenden Signale zu einer Ist-Position des Tischsystems verarbeitet werden, wobei dem Rechnersystem (16) vorzugsweise sämtliche Bohrlochkoordinaten sowie Zusatzinformationen, wie Bohrlochdurchmesser, insbesondere in Tabellenform, zur Verfügung gestellt werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur Bearbeitung einzelner Felder das Substrat (5) unter der Schreiboptik (2) positioniert wird und daß statistische Positionsfehler in beiden Bewegungsachsen durch Nachführen des Spots mittels einer Strahlableiteneinheit ausgeglichen werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat während der Bearbeitung kontinuierlich bewegt wird und der resultierende dynamische Positionsfehler in beiden Bewegungsachsen des Substrats (5) durch Nachführen des Spots mittels der Strahlableiteneinheit ausgeglichen wird.
4. Verfahren nach Anspruch 1 und 2 oder nach Anspruch 1 und 3, dadurch gekennzeichnet, daß zur Bearbeitung einzelner Felder oder des kontinuierlich bewegten Substrats (5) unter der Schreiboptik (4) die Bohrlochkoordinaten während der Bearbeitung entsprechend einer ausgemessenen Substratverzerrung korrigiert werden.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß mittels des Rechnersystems (16) sämtliche Koordinatenberechnungen in den Zähleinheiten des Systems zur Bestimmung der Substratposition, insbesondere des Interferrometers (9, 11) durchgeführt werden, wobei die erforderlichen Umskalierungsoperationen zur Ansteuerung der Strahlpositioniereinheit in der Schreiboptik (4) bevorzugt durch zugeordnete Speichertabellen erfolgen.

6. Verfahren, insbesondere nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß mittels der Schreiboptik (4) der Durchmesser des Spots auf dem zu bearbeitenden Substrat (5) derart schnell verändert wird, daß unterschiedliche Bohrlochdurchmesser in einem Arbeitsgang und / oder mit einem einzigen Laserschuss, erstellt werden, ohne daß ein „nibbling“-Verfahren anzuwenden ist, und / oder daß in das Substrat (5) Bohrungen mit unterschiedlichen oder variierenden Durchmessern eingebracht werden, wobei entsprechend dem geforderten Bohrlochdurchmesser der Spotdurchmesser des Lichtstrahls vorgegeben wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß in der Schreiboptik (4) aktive Spiegelemente zur Variation des Strahldurchmessers enthalten sind, und / oder daß die Brennweite der genannten Spiegel durch Anlegen einer Spannung geändert wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die aktiven Spiegelemente, insbesondere mittels eines Hilfsstrahles, permanent optisch vermessen und / oder dementsprechend geregelt werden.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die variable Strahlpositionierung der Schreiboptik mittels galvanometergesteuerter Drehspiegel (69, 71) erreicht wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die variable Strahlpositionierung der Schreiboptik mittels piezogetriebener und verstellbarer Spiegel (69, 71) erreicht wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die variable Strahlpositionierung der Schreiboptik mittels akusto-optischer Deflektoren (64, 66) erreicht wird.

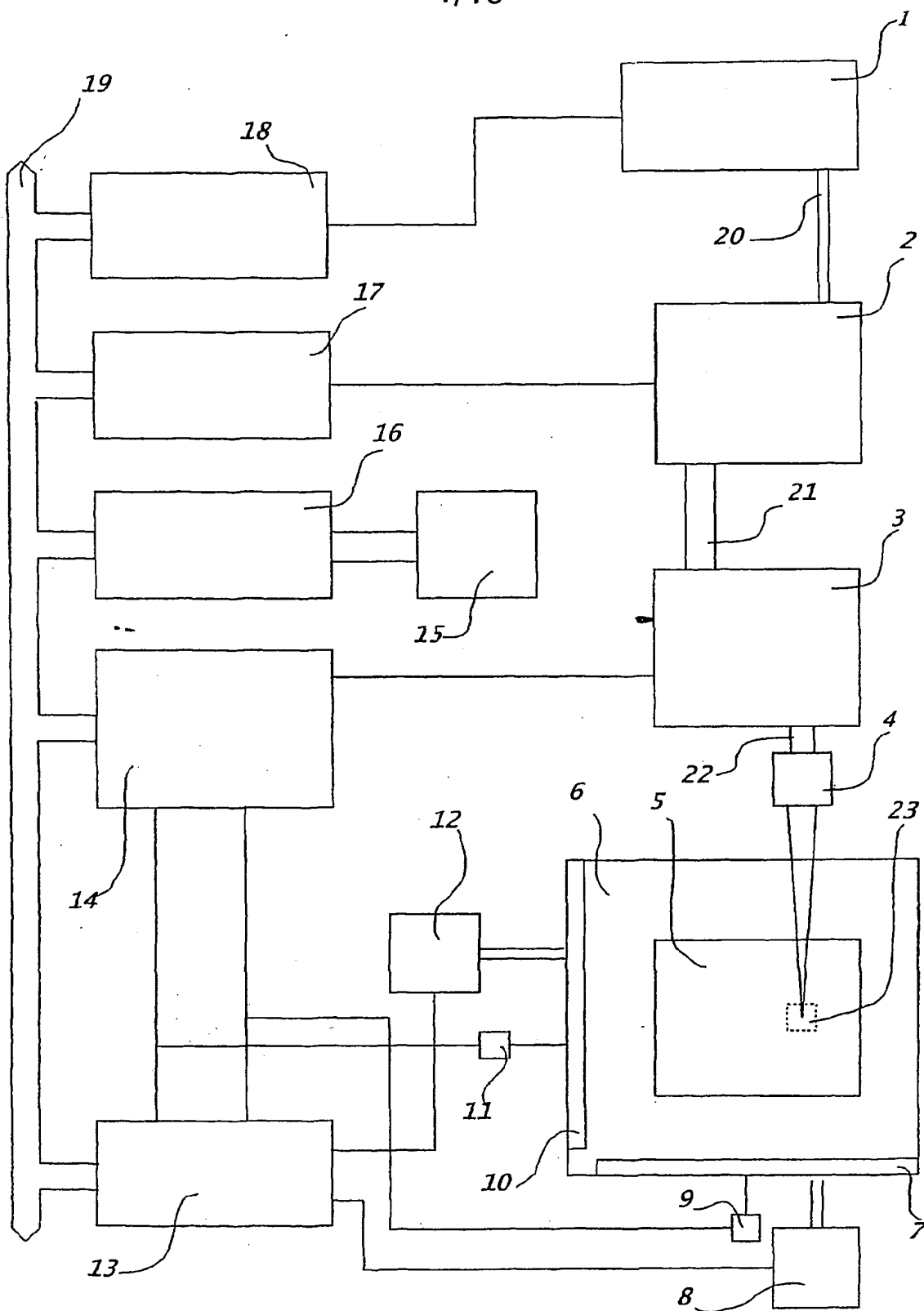


Fig. 1

ERSATZBLATT (REGEL 26)

2/10

Fig. 2

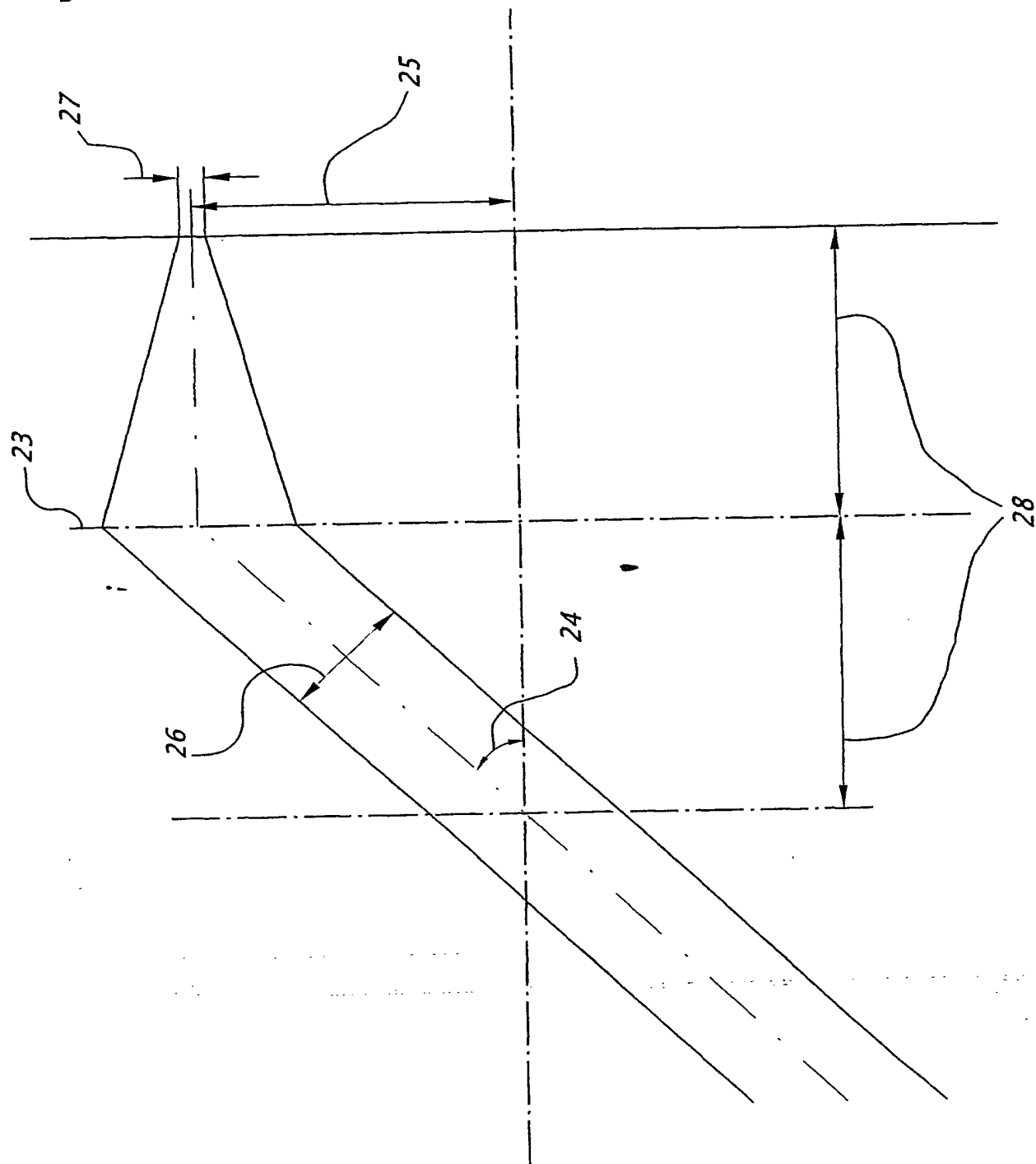
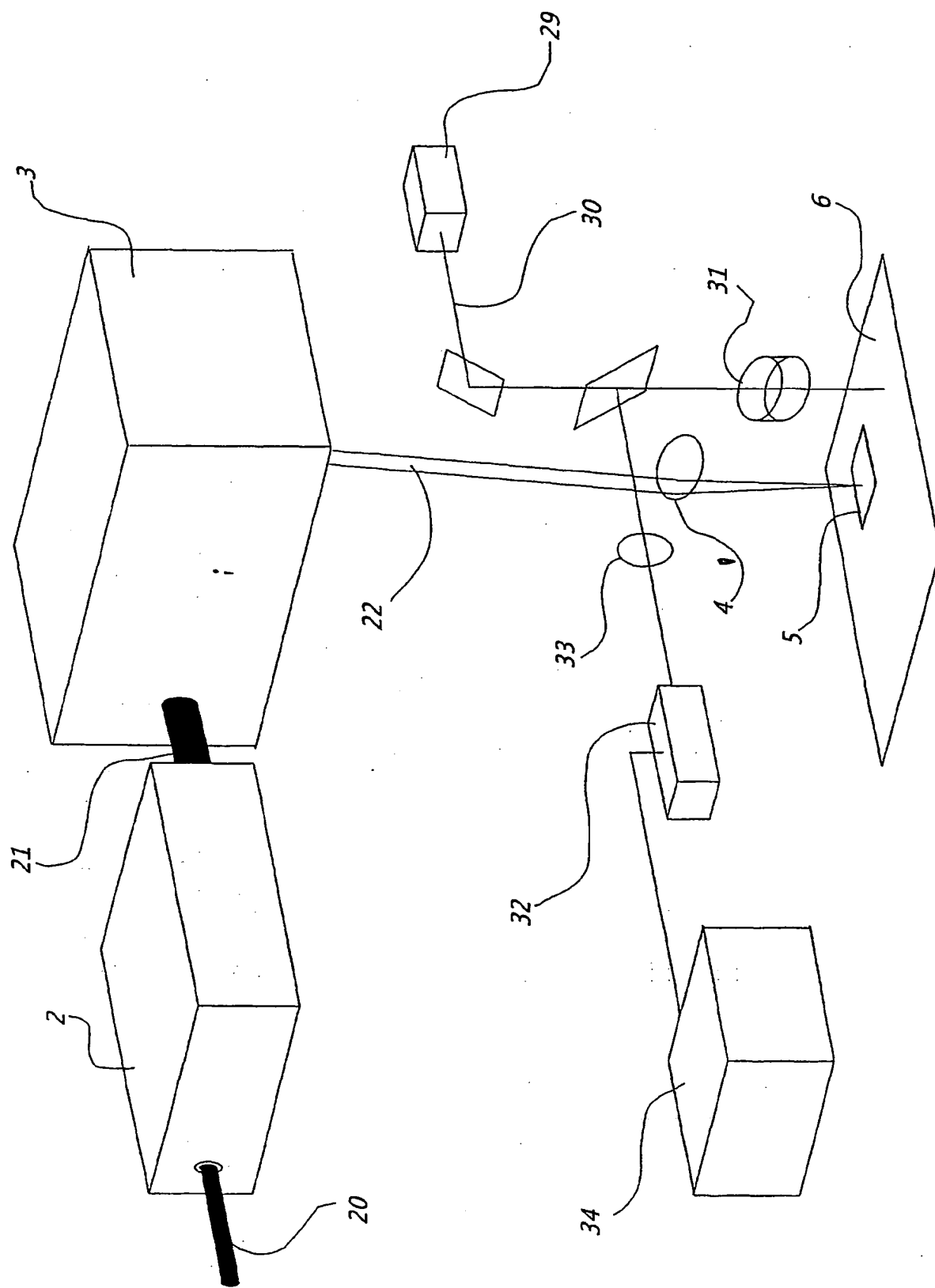


Fig. 3

3/10



ERSATZBLATT (REGEL 26)

Fig. 4

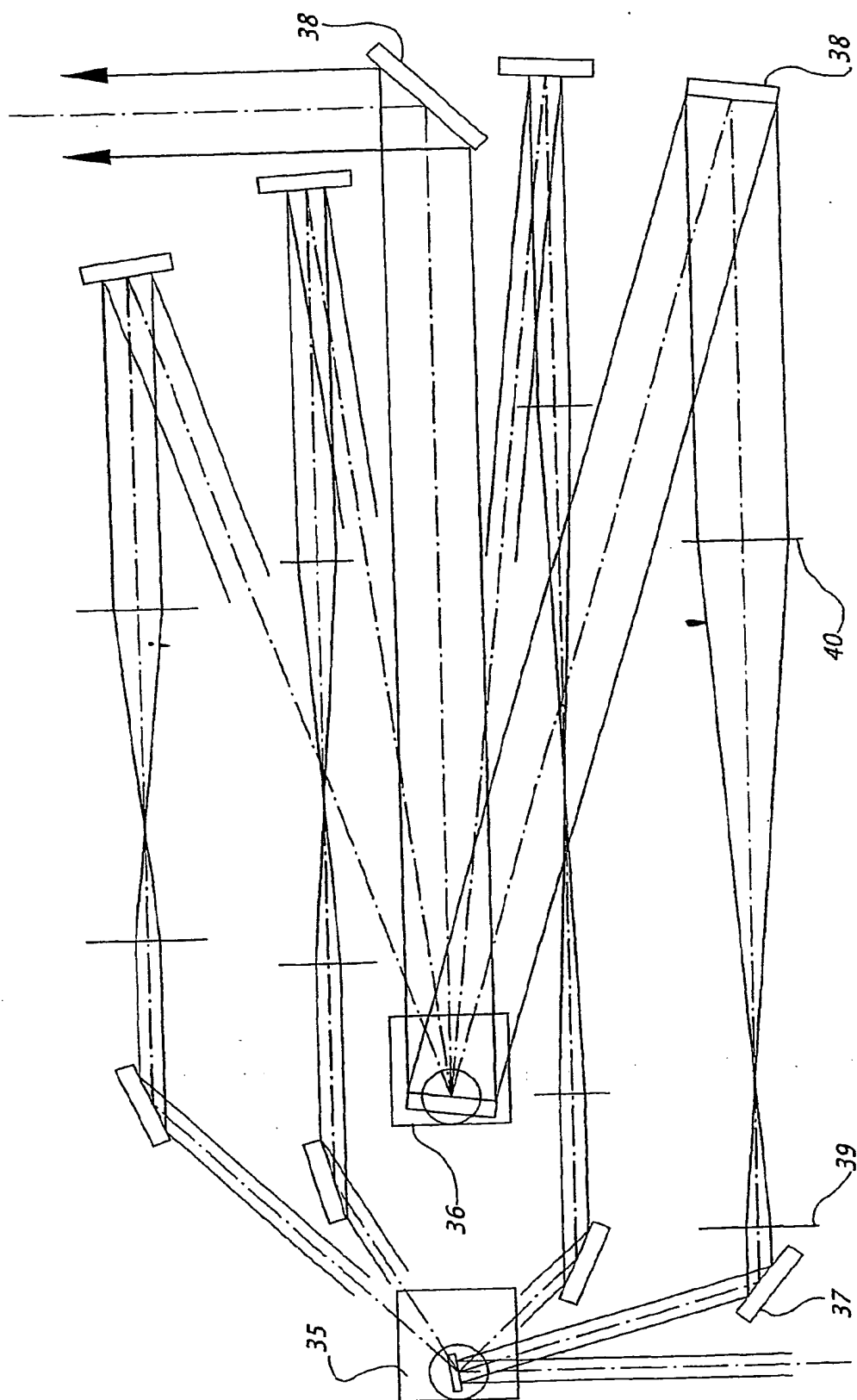
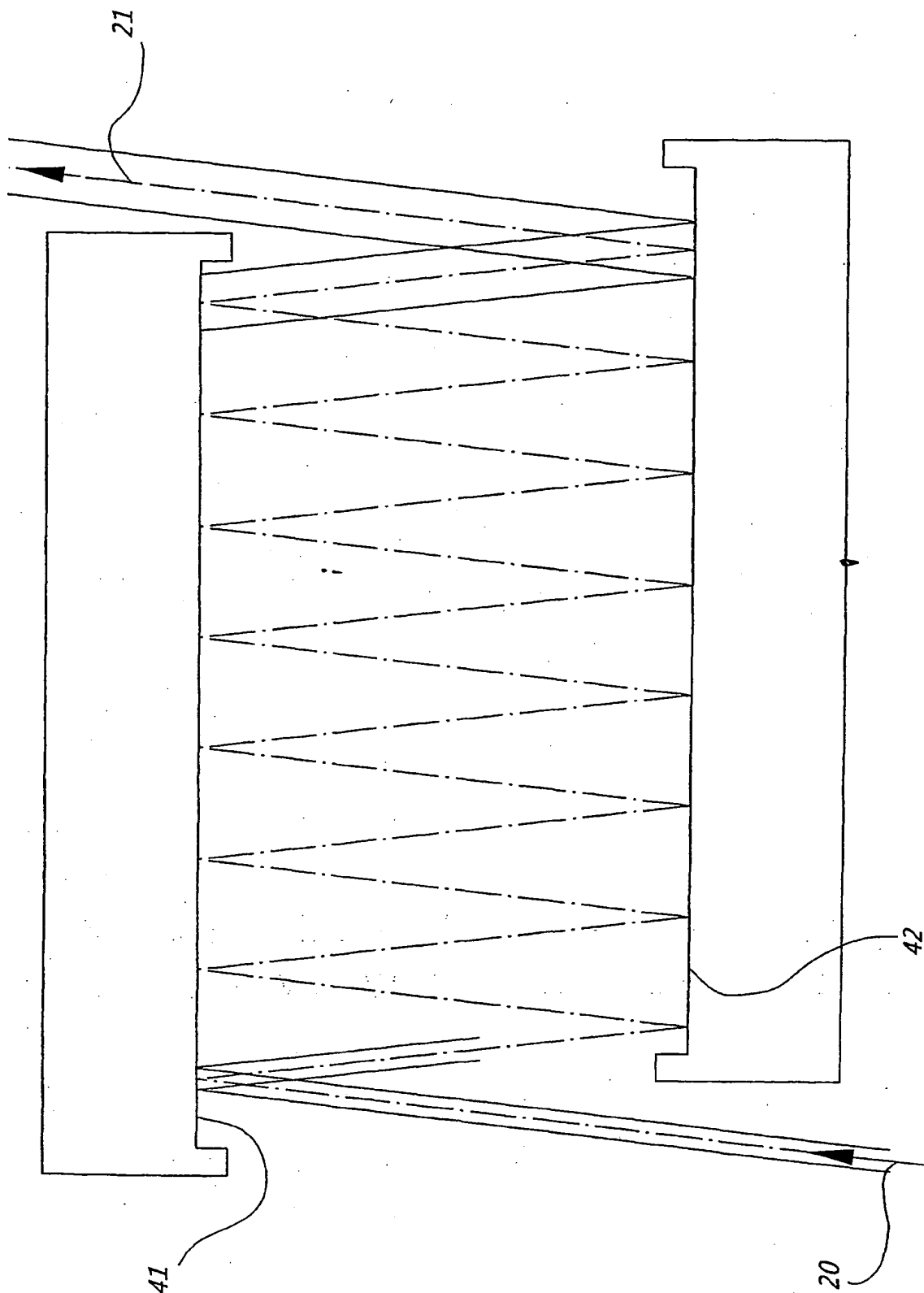


Fig. 5

5/10



ERSATZBLATT (REGEL 26)

Fig. 6

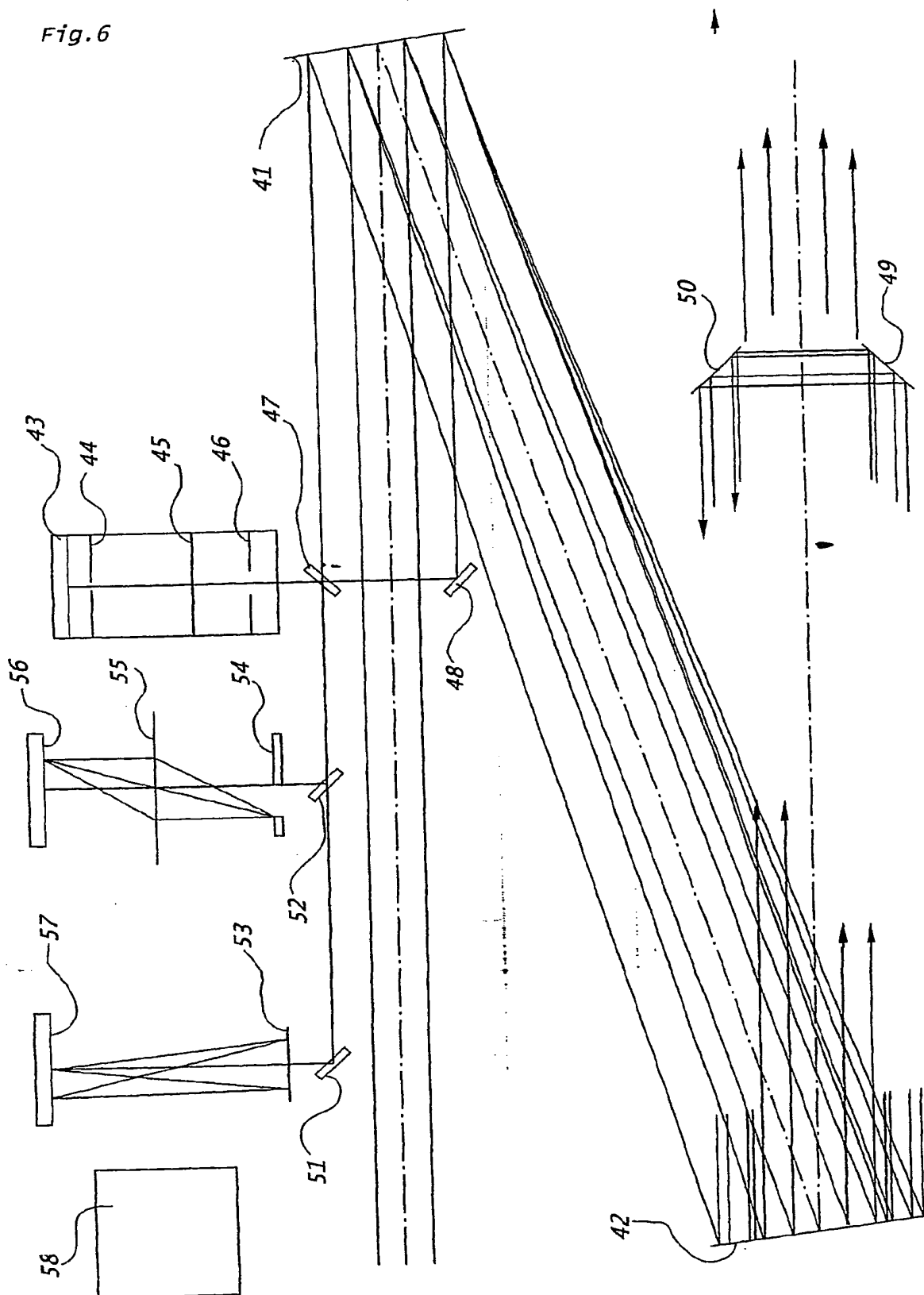


Fig. 7

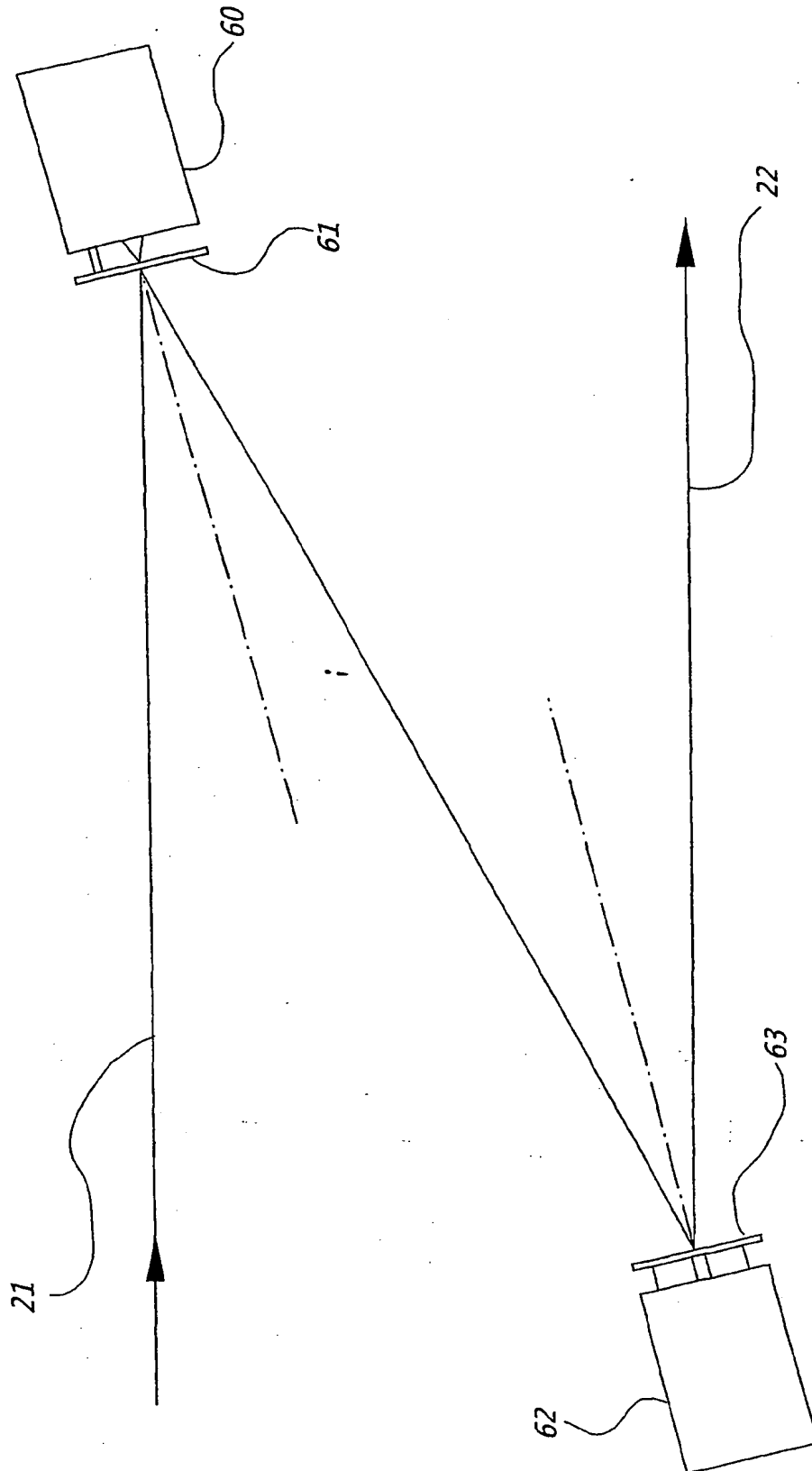


Fig. 8

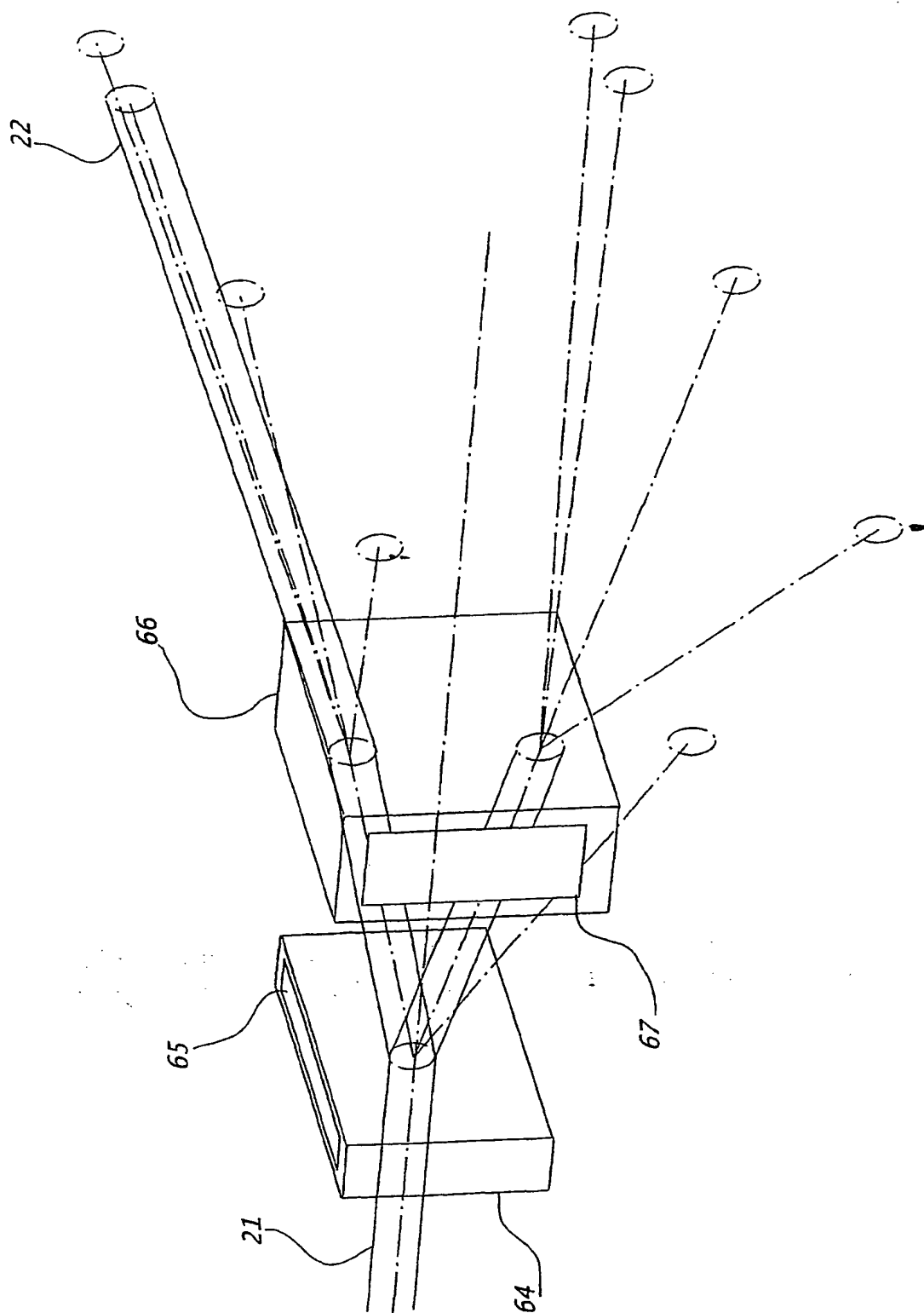


Fig. 9

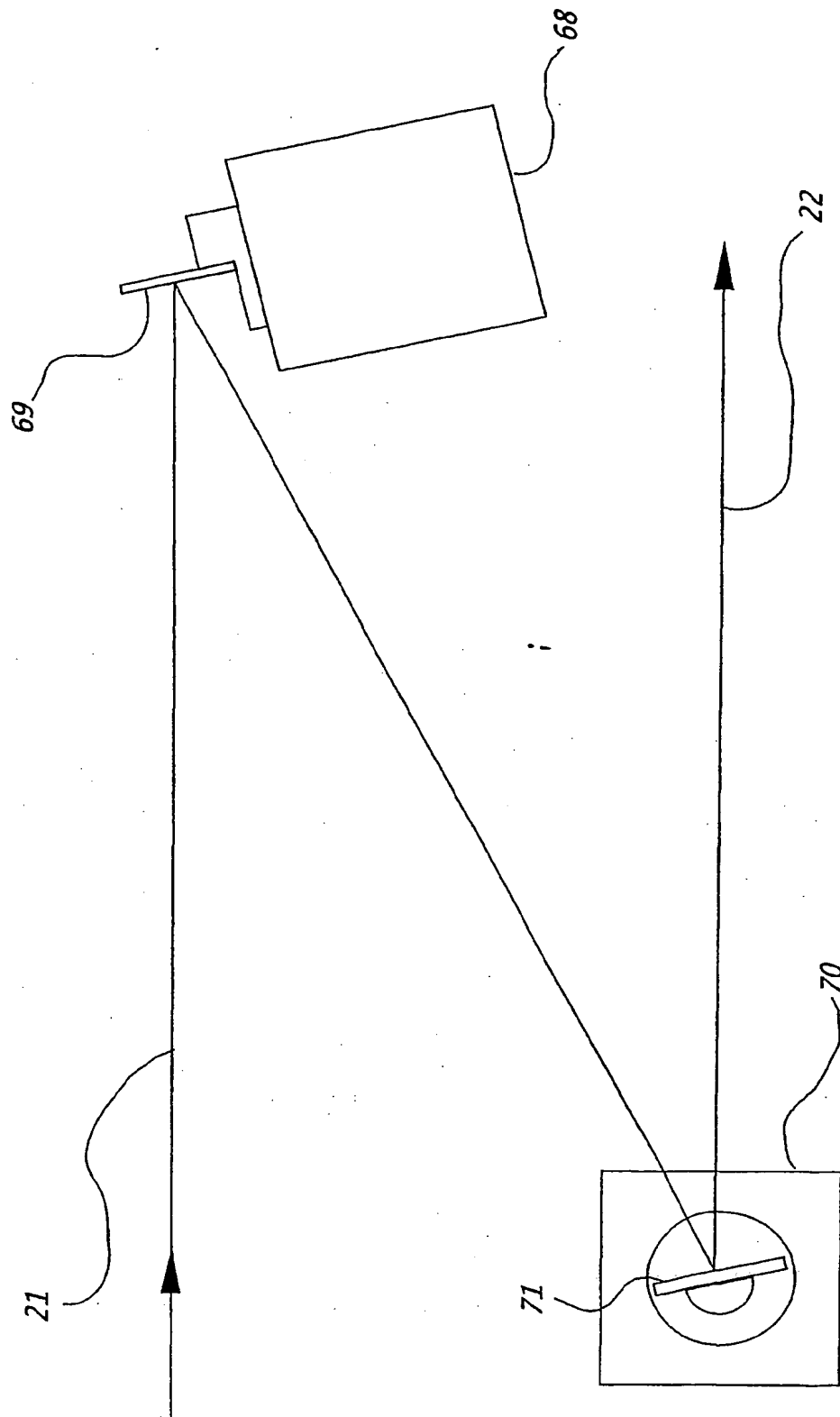
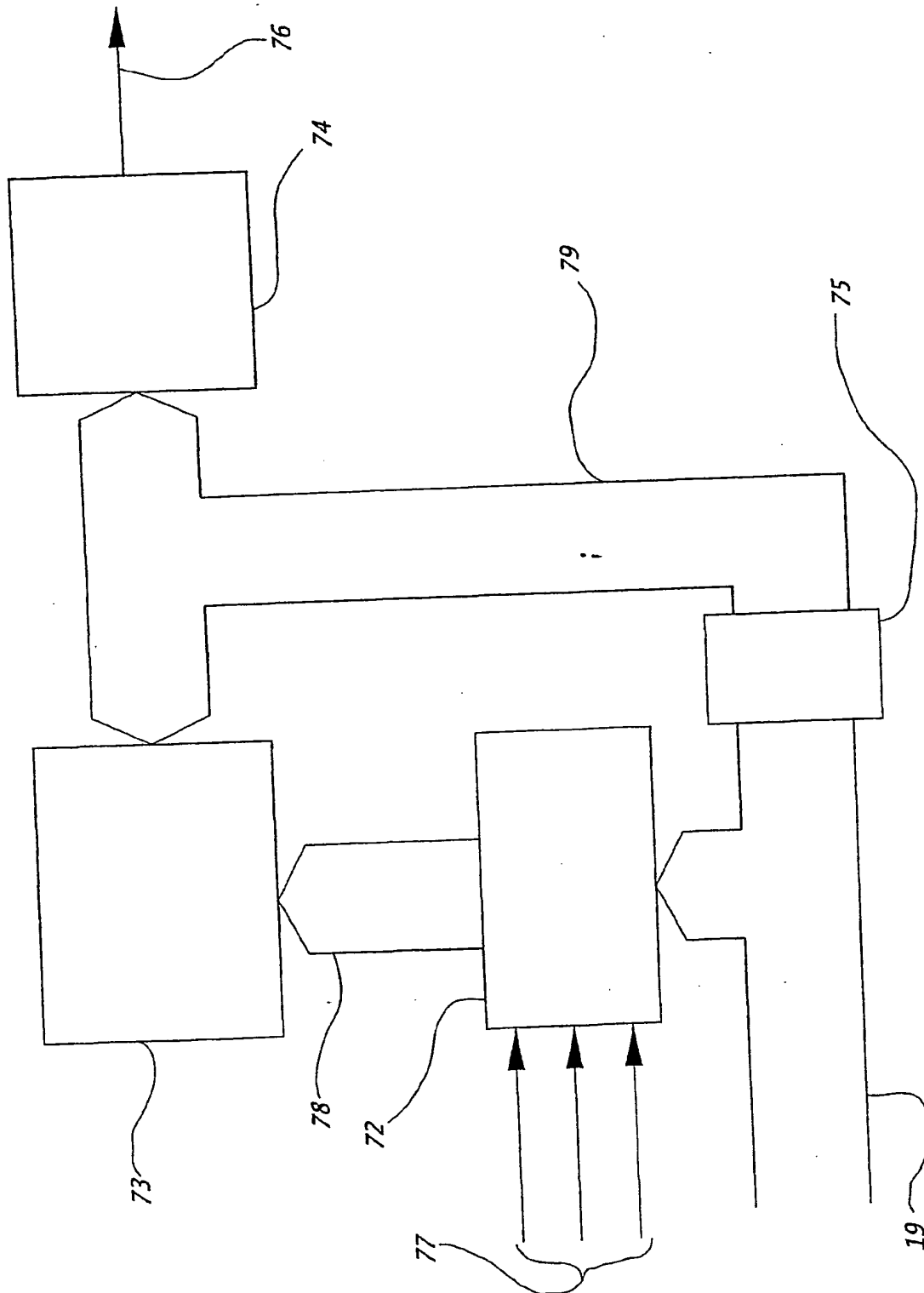


Fig. 10



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.

PCT/EP 06914

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 B23K26/00 B23K26/04 B23K26/08 H05K3/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 B23K H05K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 0 884 128 A (IBIDEN CO LTD) 16 December 1998 (1998-12-16)	1,6,9
A	the whole document	3-5,7,8
X	US 5 690 846 A (NAKAI IZURU ET AL) 25 November 1997 (1997-11-25)	1
A	the whole document	2
A	US 5 751 588 A (FREEDENBERG CANDACE J ET AL) 12 May 1998 (1998-05-12)	1
	the whole document	

☐

Further documents are listed in the continuation of box C.

☒

Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *G* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

29 November 2000

Date of mailing of the international search report

06/12/2000

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Aran, D

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Application No
PCT/EP 00/06914

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0884128	A	16-12-1998	JP 10156570	A 16-06-1998
			JP 10150279	A 02-06-1998
			JP 10200269	A 31-07-1998
			JP 3023320	B 21-03-2000
			JP 10200270	A 31-07-1998
			WO 9822252	A 28-05-1998
US 5690846	A	25-11-1997	JP 3077539	B 14-08-2000
			JP 8174256	A 09-07-1996
US 5751588	A	12-05-1998	US 5620618	A 15-04-1997
			US 5541731	A 30-07-1996
			US 5626778	A 06-05-1997
			US 5618454	A 08-04-1997

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationale Anzeichen

PCT/EP 06914

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 7 B23K26/00 B23K26/04 B23K26/08 H05K3/00

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RESEARCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 B23K H05K

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 0 884 128 A (IBIDEN CO LTD) 16. Dezember 1998 (1998-12-16)	1,6,9
A	das ganze Dokument	3-5,7,8
X	US 5 690 846 A (NAKAI IZURU ET AL) 25. November 1997 (1997-11-25)	1-
A	das ganze Dokument	2
A	US 5 751 588 A (FREEDENBERG CANDACE J ET AL) 12. Mai 1998 (1998-05-12)	1
	das ganze Dokument	



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie auszuführen)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

G Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

29. November 2000

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

06/12/2000

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Aran, D

INTERNATIONALE RESEARCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

In Aktenzeichen
PCT/EP 00/06914

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 0884128 A	16-12-1998	JP 10156570 A	16-06-1998
		JP 10150279 A	02-06-1998
		JP 10200269 A	31-07-1998
		JP 3023320 B	21-03-2000
		JP 10200270 A	31-07-1998
		WO 9822252 A	28-05-1998
US 5690846 A	25-11-1997	JP 3077539 B	14-08-2000
		JP 8174256 A	09-07-1996
US 5751588 A	12-05-1998	US 5620618 A	15-04-1997
		US 5541731 A	30-07-1996
		US 5626778 A	06-05-1997
		US 5618454 A	08-04-1997

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)